



**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, SISTEMAS Y
TELECOMUNICACIONES
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**METODOLOGÍA DE PLANEACIÓN DE LA EXPANSIÓN EN SUBESTACIONES
ELÉCTRICAS PARA CENS S.A E.S.P**

AUTOR: YEINER DAVID PALLARES MIRANDA

DIRECTOR: WILSON DAVID LIZARAZO CARDENAS

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA,
SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**



**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
PAMPLONA N. DE S. – COLOMBIA
2 de Junio 2021**

**METODOLOGÍA DE PLANEACIÓN DE LA EXPANSIÓN EN
SUBESTACIONES ELÉCTRICAS PARA CENS S.A E.S.P**

AUTOR: YEINER DAVID PALLARES MIRANDA

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO
ELÉCTRICO**

DIRECTOR: WILSON DAVID LIZARAZO CARDENAS

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA,
SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
PAMPLONA N. DE S. – COLOMBIA
2 de Junio 2021**

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA ELECTRÓNICA SISTEMAS
Y TELECOMUNICACIONES
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**AUTORIZACIÓN PARA SUSTENTAR
TRABAJO PRESENTADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE
INGENIERO ELÉCTRICO**

**METODOLOGÍA DE PLANEACIÓN DE LA EXPANSIÓN EN SUBESTACIONES
ELÉCTRICAS PARA CENS S.A E.S.P**

FECHA DE INICIO DEL TRABAJO:

FECHA DE TERMINACIÓN DEL TRABAJO:

NOMBRES Y FIRMAS DE AUTORIZACIÓN PARA SUSTENTAR

AUTOR: _____

DIRECTOR: _____

DIRECTOR DE PROGRAMA: _____

JURADO CALIFICADOR:

PRESIDENTE: ING. _____

OPONENTE: ING _____

SECRETARIO: ING. _____

PAMPLONA, COLOMBIA

FECHA

DEDICATORIA

Dedico mi tesis de manera muy especial a mi hermano Esneider Pallares, pues fue el principal cimiento para la construcción de mi vida profesional. En él me quiero reflejar por sus virtudes y su gran corazón.

De las personas que más quiero resaltar a mi abuela Osme (Q.E.P) por inculcarme buenos valores durante mi niñez.

Dedico a mi madre y agradecerle por mostrarme que hay paz después de la tormenta.

A mis hermanos menores espero ser un buen ejemplo a seguir y que tomen este logro como ganas de seguir adelante.

“El éxito no se mide por lo que haces comparado con lo que hacen los demás; se mide por lo que haces con las habilidades que Dios te dio.”

Zig Ziglar

“El verdadero buscador crece y aprende, y descubre que siempre es el principal responsable de lo que sucede”

Jorge Buca

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradecer a Dios por llenarme de vida y salud para culminar esta etapa de mi vida. Segundo quiero agradecer a mis familiares por su apoyo, muy especialmente a mi hermano Esneider Pallares quien durante mi proceso de formación me apoyó incondicionalmente para culminar mis estudios.

Durante el proceso de formación crecí como persona y profesionalmente, a punto de culminar esta etapa quiero agradecer de manera muy especial a Felipe, Edgar, Alfredo, María Daniela, Dimas, Andrés y Jean a cada uno infinitas gracias por cada momento compartido durante este proceso.

Agradecerle al Ingeniero Wilson David Lizarazo Cárdenas por ser mi director de trabajo de grado y culminar con la última etapa de mis estudios de pregrado, también quiero agradecer a los docentes quienes nos brindaron sus conocimientos durante el proceso de formación en la Universidad de Pamplona.

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	13
2. OBJETIVOS	14
2.1 OBJETIVO GENERAL	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
3.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	15
3.2 JUSTIFICACIÓN	15
4. ESTADO DEL ARTE Y MARCO DE REFERENCIA	16
4.1 ESTADO DEL ARTE	16
4.2 MARCO DE REFERENCIA	18
4.2.1 MARCO TEÓRICO	18
4.2.1.2 CLASIFICACIÓN DE SUBESTACIONES SEGÚN (CNS-NT-04)	18
4.2.1.3 TIPOS DE SUBESTACIÓN SEGÚN (CNS-NT-04)	18
4.2.1.4 REQUISITOS QUE SE DEBEN CUMPLIR SEGÚN LA CNS-NT-04	19
4.2.2 CONFIGURACIÓN DE UNA SUBESTACIÓN	22
4.2.2 CONFIGURACIONES DE CONEXIÓN DE BARRAS	22
4.2.4 CONFIGURACIONES DE CONEXIÓN DE INTERRUPTORES	23
4.2.5 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL SITIO	24
4.2.5.1 ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS	24
4.2.5.2 ESTUDIOS GEOTÉCNICOS	25
4.2.5.3 ESTUDIOS SÍSMICOS	25
4.2.5.4 ASPECTOS AMBIENTALES	25
4.2.5.5 URBANIZACIÓN Y DISPOSICIÓN FÍSICA	25
4.2.5.6 NIVELES DE TENSIÓN:	26
4.2.6 COORDINACIÓN ENTRE AGENTES	26
4.2.7 MÉTODOS PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA INVERSIÓN Y EL USO DE LOS RECURSOS DE LA EXPANSIÓN DE SUBESTACIONES ELÉCTRICAS	27
4.2.7.1 METODOLOGÍA ADOPTADA POR SALT RIVER PROJECT (SRP)	27
4.2.8 METODOLOGÍA POR COLONIA DE HORMIGAS	31
4.2.9 METODOLOGÍA DEL PLAN DE EXPANSIÓN GENERACIÓN – TRANSMISIÓN EN COLOMBIA	33

4.2.9.1	METODOLOGÍA DE PLANIFICACIÓN DE LA EXPANSIÓN DE LA GENERACIÓN	33
4.2.9.2	METODOLOGÍA GENERAL DE PLANIFICACIÓN DE LA RED DE TRANSMISIÓN	37
4.3	MARCO CONCEPTUAL	39
4.4	MARCO NORMATIVO	40
4.4.1	ESTRUCTURA EXISTENTE DE CENTRALES ELÉCTRICAS DE NORTE DE SANTANDER	42
5.	RESULTADOS	43
5.1	VARIABLES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA	43
5.2	METODOLOGÍA DE PLANEACIÓN DE LA EXPANSIÓN EN SUBESTACIONES ELÉCTRICAS.	44
5.3	ANALIZAR LA FACTIBILIDAD DE EXPANSIÓN DE ACUERDO A LA METODOLOGÍA PROPUESTA AL OPERADOR DE RED.	48
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	57
7.	BIBLIOGRAFÍA	58

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1. Indicadores de confiabilidad según la UPME[10]</i>	34
<i>Tabla 2. Aspectos normativos para el diseño de una subestación eléctricas[6]</i>	40

LISTA DE FIGURAS

	Pág
<i>Figura 1. Feromonas depositadas</i>	32
<i>Figura 2. Entrada de Hormigas</i>	32
<i>Figura 3. Metodología general de planificación de generación y la red de transmisión</i>	36
<i>Figura 4. Metodología General para la Planificación del STN.</i>	38
<i>Figura 5. Metodología general para la planificación de la expansión en subestaciones eléctricas.</i>	47
<i>Figura 6. Zona de influencia del proyecto.</i>	48
<i>Figura 7. S/E Palermo Fuente: CENS</i>	49
<i>Figura 8. Tabla de la demanda historia en S/E Palermo.</i>	50
<i>Figura 9. Gráfica de la demanda historia S/E Palermo.</i>	50
<i>Figura 10. Tabla de la demanda pronosticada en S/E Palermo.</i>	51
<i>Figura 11. Gráfica de la demanda pronosticada de S/E Palermo.</i>	51
<i>Figura 12. Gráfica de la demanda histórica con la pronosticada.</i>	52
<i>Figura 13. Gráfica capacidad de S/E Palermo vs demanda de energía.</i>	52
<i>Figura 14. Nuevas S/E Tonchalá y La Don Juana.</i>	54
<i>Figura 15. Plan de conexión de las S/E con La Don Juana.</i>	55

Pág

RESUMEN

En el presente trabajo se pretende determinar una metodología de planeación para la expansión de subestaciones eléctricas en el Operador de Red Centrales Eléctricas de Norte de Santander- CENS S.A E.S.P. Teniendo en cuenta la capacidad instalada que tienen las subestaciones que están situadas a lo largo del departamento de Norte de Santander, que es la zona donde opera mayormente opera CENS exceptuando la subestación regional de Aguachica Cesar. También cabe resaltar los nuevos proyectos previstos para los próximos años en el departamento que podrían afectar la demanda eléctrica.

En el trabajo se toma una zona a la que se quiera estudiar y aplicar la metodología, pero primero se debe tener claro las variables a analizar para concluir la metodología. En este caso el OR facilita la información pertinente para estudiar la vía Pamplona-Cúcuta, específicamente la S/E Palermo el cual tiene varias cargas asociadas y se le hace el estudio de la demanda histórica y pronosticada pero esta no supera la capacidad de transformación de la S/E, por lo que entra en estudio otra variable de la metodología que es la confiabilidad en el sistema para determinar si se debe expandir o si es necesario una nueva subestación eléctrica.

Palabras claves: Metodología, Subestación eléctrica, Transformador, expansión.

ABSTRACT

In this work, the aim is to determine a planning methodology for the expansion of electrical substations in the Operador de Red Centrales Eléctricas de Norte de Santander- CENS S.A E.S.P. Taking into account the installed capacity of the substations that are located throughout the department of Norte de Santander, which is the area where CENS operates most of the time, except for the regional substation of Aguachica, Cesar. It is also worth highlighting the new projects planned for the coming years in the department that could affect electricity demand.

In the work, an area is taken to which you want to study and apply the methodology, but first you must be clear about the variables to be analyzed to conclude the methodology. In this case, the OR provides the pertinent information to study the Pamplona-Cúcuta road, specifically the Palermo S / E, which has several associated loads and a study of the historical and forecast demand is made, but this does not exceed the transformation capacity of the S / E, which is why another variable of the

methodology is being studied, which is the reliability of the system to determine if it should be expanded or if a new electrical substation is necessary.

Keywords: Methodology, Electrical substation, Transformer, expansion.

1. INTRODUCCIÓN

Según la UPME para el Departamento de Norte de Santander en el transcurso del año 2020 no se aprobaron proyectos de generación, pero para el año 2021 entrarían en operación 6 proyectos, en su mayoría generación con sistemas fotovoltaicos, con una capacidad instalada 188.7 MW, eso para ese año.

Para los siguientes años 2022-2024 entrarían en operación 5 proyectos con una capacidad de 384 MW, el cual se divide en un 89.59% generación por sistema fotovoltaico y un 10.41% de generación hidráulica.

Cabe resaltar que estos datos estadísticos fueron tomados con concepto aprobado y concepto supeditado, adicional a esto se los tipos de generación que aquí se mencionan son de tipo ampliación, generación mayor y generación menor. Hasta ahora se ha hablado de proyectos de generación, pero también se tiene en cuenta los proyectos de infraestructura vial, entrada de nuevos usuarios importantes al sistema, como también el estado del sistema eléctrico mismo del Operador de Red.

Por lo anterior se propone la metodología a la empresa suministradora de servicio de energía en el departamento, para una correcta atención de la demanda, para evitar cargos por confiabilidad o sanciones por incumplimiento de la normativa de la Comisión de Regulación de Energía y Gas- CREG en sus diferentes resoluciones que regulan el sector eléctrico colombiano.

Cabe mencionar que la metodología inicialmente se dispondrá para las subestaciones con los niveles nominales de tensión (115/34.5 kV, 34.5/13.8 kV)

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Establecer una metodología de planeación de la expansión en subestaciones eléctrica para CENS S.A E.S.P

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Evaluar los métodos para la optimización de la inversión y el uso de los recursos de la expansión de subestaciones eléctricas.
2. Establecer las variables para determinar la metodología de la expansión en subestaciones eléctricas
3. Proponer una metodología para la expansión de subestaciones CENS S.A E.S.P
4. Analizar la factibilidad de expansión de acuerdo a la metodología propuesta al Operador de Red.

3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El departamento de norte de Santander actualmente está creciendo en demanda eléctrica, principalmente por nuevos proyectos de infraestructura vial, sectores productivos y nuevos usuarios importantes. Actualmente el Operador de Red del departamento (CENS S.A E.S.P) no cuenta con una metodología que le permita planificación en las subestaciones, por lo que se hace necesario realizar una planeación en el sector eléctrico de manera adecuada que permita evitar problemas de operación en el sistema eléctrico y en los centros de transformación, sanciones por tener bajos niveles de tensión, pérdidas en el sistema, como también demandas no atendidas. A esto se le puede sumar los nuevos proyectos aprobados por la Unidad de Planeación Minero Energética- UPME para el departamento de Norte de Santander, uno de estos proyectos son la doble calzada que comunica a Pamplona-Cúcuta, el cual se prevé que tendrá una gran demanda eléctrica afectando a la población cercana. También existen proyectos de minería en algunas zonas del departamento y proyectos de generación.

3.2 JUSTIFICACIÓN

Con el ánimo de dar solución a la problemática evidenciada se propone una metodología para la expansión de las subestaciones de energía eléctrica, analizando cada una de las características para la expansión de subestaciones. Entre estas características está y es la atención de la demanda, adaptabilidad y flexibilidad, viabilidad ambiental junto con las normas y permisos que estas acarrearán, junto a estas características es importante analizar temas acerca de la eficiencia económica, jaez y fijeza del servicio. Todo esto con el fin de que el Operador de Red de este departamento tenga una guía acerca de la expansión con el fin de atender a sus usuarios con una óptima planificación en su sistema eléctrico cuando a futuro, se requiera expansiones o que entren en operación nuevos proyectos de infraestructura eléctrica.

4. ESTADO DEL ARTE Y MARCO DE REFERENCIA

4.1 ESTADO DEL ARTE

Teniendo en cuenta lo referente al tema de investigación, no se encontró temas relacionados a nivel regional que competan a este trabajo.

A nivel nacional en la ciudad de Pereira departamento de Risaralda, Hincapié, R. A., Granada, M., & Gallego, R. A. *“la planeación óptima del sistema eléctrico de la ciudad de Pereira usando una metodología matemática exacta”* (2008). Donde su objetivo principal es mediante el método lineal entero mixto (PLEM) dar solución a la hora de ubicar y dimensionar de nuevas subestaciones y alimentadores, y la reconductorización de alimentadores existentes con el algoritmo de Branch and Bound. Este método incluye una función objetivo asociada al costo del diseño del sistema y una serie de restricciones que reflejan los requerimientos técnicos. En ese artículo implementan un software GAMS y el planeamiento se realizó para un período de tres años teniendo en cuenta la proyección de la demanda actual según el OR de Pereira y la entrada al sistema de nuevas cargas en dicho sector[1].

Dalal, Snehal B., Kristie K. Cocco, and Michael D. Mattson.” *Methodology for Expansion of 230kV Substations (2014)*”. En un trabajo adoptado por Salt River Project (SRP) el cual hace referencia a una metodología de Ampliación de Subestaciones de 230kV en Arizona estados unidos. Donde su discusión principal es para las subestaciones aisladas en gas (GIS). La SRP con sede en Phoenix, Arizona. La población del área metropolitana de Phoenix creció de 3,28 a 4,36 millones (~ 33%) durante los años 2000-2009. La demanda de electricidad está aumentando en todo EE. UU. A un ritmo de alrededor del 25% por década. El crecimiento continuo del área metropolitana de Phoenix junto con el crecimiento de cargas eléctricas, la adición y / o modificación de la infraestructura de servicios eléctricos existente. Debido a la complejidad y el costo asociados con el diseño y construcción de generación y transmisión de electricidad, es siempre un objetivo de una persona altamente calificada para utilizar la infraestructura existente como tanto como sea posible durante una expansión. El objetivo del diseño ingenieril durante la expansión es doble. Uno de los pasos a seguir es Asegurarse de que la nueva infraestructura esté diseñada según todas normas, códigos aplicables y factores económicos; otro paso importante es garantizar que se realicen las modificaciones necesarias en infraestructura existente para que pueda interactuar correctamente con nueva infraestructura. Hay una lista de actividades realizadas para cualquier Proyecto de ampliación de una subestación de 230kV[2].

Por otro lado, en un artículo escrito por John F. Franco, Marcos J. Rider, and Ruben Romero. *“Robust Multi-Stage Substation Expansion Planning Considering Stochastic Demand”*. El cual exponen la planificación óptima de expansión en subestaciones considerando la demanda estocástica. Para ellos la planificación de expansión o ampliación en subestaciones existentes tiene como finalidad atender la creciente demanda de energía eléctrica por lo tanto la solución a la planificación de S/E, define el área de servicio de las subestaciones, lo que permite determinar las rutas óptimas para satisfacer la demanda y considerar las limitaciones operativas, como las capacidades de las subestaciones, los límites de voltaje y las máximas corrientes en alimentadores. El problema de planificación de subestaciones se modela como una inversión de múltiples etapas, determinando el momento más apropiado para ejecutar cada inversión. Las siguientes suposiciones se realizan en para formular un modelo matemático para el problema planteado[3].

- Las cargas se distribuyen geográficamente y se concentran en puntos llamados centros de carga.
- Los centros de carga están conectados directamente a las subestaciones.
- Las cargas están representadas por su potencia aparente.
- Las subestaciones se pueden construir / reforzar utilizando un conjunto de tipos de subestaciones. Los costos de construcción / refuerzo son conocidos y tienen en cuenta el costo de conexión la subestación al sistema de subtransmisión, así como costos de mantenimiento y operación.
- Hay disponible un conjunto de tipos de circuitos para construir circuitos que conecten los centros de carga a las subestaciones. La construcción, el costo de cada tipo incluye el mantenimiento del circuito.
- Las demandas en los centros de carga son parámetros estocásticos que siguen una distribución de probabilidad normal.
- El plan de expansión debe satisfacer los límites de capacidad de las subestaciones, los límites de voltaje y las capacidades de corriente de los alimentadores.
- La variación de las demandas se representa a través de los niveles de carga.
- El horizonte de planificación se divide en diferentes etapas en donde se pueden ejecutar las decisiones de planificación de la expansión.

Para obtener un conjunto de candidatos adecuados para nuevas ubicaciones de subestaciones, además de consideraciones eléctricas, la selección debe tener en cuenta el plan de expansión de la ciudad, así como las limitaciones medioambientales.

Basado en esta información, "Todas las ubicaciones posibles del sitio se investigan y clasifican en sitios de evaluación inadecuados, candidatos y futuros por el planificador del sistema de distribución".

4.2 MARO DE REFERENCIA

4.2.1 MARCO TEÓRICO

Una SUBESTACION ELÉCTRICA, según el Grupo de Energía Bogotá se define como *“instalaciones formadas por equipos o dispositivos eléctricos cuya función es la conversión de voltaje, protección, control, regulación y distribución de la energía eléctrica. Además, en estos complejos se transforman los niveles de voltaje para que la energía pueda llegar al sector industrial, comercial, hospitales, colegios, vías públicas y hogares, entre otros”*[4].

4.2.1.2 COMO SE CLASIFICAN LAS SUBESTACIONES SEGÚN (CENS, CAPITULO 4)

Una central transformadora es clasificada bajo los estándares esencial que abarquen los diferentes tipos correspondiente al espacio:

- Su caracterización adentro del SEP
- Debido a su maniobra
- Por su configuración

4.2.1.3 DIFERENTES SUBESTACIONES SEGÚN (CENS, capítulo 4)

eniendo en cuenta la manera de instalar una subestación del Sistema de Distribución Local y STR del OR, son divididas de la siguiente manera:

Subestación Eléctrica de patio:

- AT y EAT
- Distribución de MT
- Combinada entre MT y AT

Subestaciones de tipo:

- Pedestal

- Sumergible
- Poste de distribución
- Las que están ubicadas dentro de edificios
- Distribución en MT
- Encapsuladas de AT y EAT que son aisladas en aire o para interiores.

4.2.1.4 DISPOSICIONES QUE DEBEN SER CUMPLIDAS DE ACUERDO A (CENS, CAPITULO 4).

todas las estaciones transformadoras de distribución y de potencia, se les exige cumplir con los requisitos planteados a continuación:

- *“Se debe cumplir el RETIE cuando un propietario o constructor quiera remodelar o construir una subestación. adicional a esto los materiales a utilizar deben estar certificados por un organismo acreditado por la ONACo quien haga sus veces” (CENS, 2016)[5].*
- *“Se debe disponer de un aviso que indique una superficie caliente cuando en una subestación tipo pedestal operando en condiciones normales la parte exterior del cubículo supere la temperatura ambiente en 45 grados Celcius. se omite este procedimiento si el trafo posee una protección que garantice el corte la energía cuando haya una sobre temperatura.” (CENS, 2016)[5].*
- *“Para las S/E que estén ubicadas dentro de edificaciones, el cuarto se debe disponerse en un lugar donde sea de accesible desde afuera, para que el personal calificado ingrese o saque equipos fácilmente para casos de revisión y mantenimientos.” (CENS, 2016)[5].*
- *“Debe disponerse de una señal con el simbolo de riesgo eléctrico en las entradas de las S/E, además se le debe colocar la señal a la malla eslabonada en la parte exterior cuando ingresen personas” (CENS, 2016)[5].*
- *“En el caso de las S/E que suministran de energía a usuarios finales, por fuerza de ley debe predominar la conformidad RETIE, en unión instalación que alimenta y la red hasta el punto de conexión.” (CENS, 2016)[5].*
- *“Se prohíbe rotundamente que en las S/E existan crucen ductos de agua, gas natural, aire comprimido, gases de uso industrial o combustibles. cabe aclarar que se exceptúan las tuberías de extinción de incendios y de refrigeración de los equipos propios de la S/E” (CENS, 2016)[5].*
- *“En los Cuartos situados en sótanos o semisótano, con el techo debajo de antejardines y muros que limiten, se deben impermeabilizar por casos de*

humedad u oxidación. para complementar este procedimiento al lado de las subestación no deben colocarse combustibles” (CENS, 2016)[5].

- “En los transformadores aislados con aceite (OA), se les prohíbe ser instalados en piso o lugares que estén encima de oficinas, habitaciones y por lo general a sitios donde haya acumulación de personas. Si un trafo con más de 2 mil galones de aceite deben instalarse carente a 9 metros de los muros de la S/E, en caso de no cumplirse se sugiere colocar paredes resistentes al fuego en cumplimiento de la norma NFPA 225. existe otro caso donde si el refrigerante de aceite está entre los 500 y 2000 galones, se le recomienda reducir la distancia a 7 metro y si no cumple con la distancia se considera colocar pared que resista el fuego al menos 2 horas” (CENS, 2016)[5].
- “si un transformador OA se va a instalar en bovedas, dicha boveda debe ser resistente al fuego con un tiempo minimo de tres horas. en el caso de trafos secos con una potencia no superior de 112.2 kVA la resistencia contra el fuego ha de ser minimo de una hora” (CENS, 2016)[5].
- “en lo lugares que se encuentren instalaciones de una subestación eléctrica con zonas que estén expuestas y energizadas, se le recomienda poner cercas, o paredes y puertas que imposibiliten el acceso a personal ajeno. esto no aplica para las S/E en poste” (CENS, 2016)[5].
- “el lugar donde los elementos quea realizan el SPT de una celda, se recomienda estar visualmente identificados con la maniobra de SPT de la celda” (CENS, 2016)[5].
- “Se debe disponer de un sumidero o lugar para evitar la dispersión de incendio caudados por derrame de aceite, a este foso se le sugiere agregar varias capas de gravilla que sirvan como sumidero de la combustión. quedan exentas las subestaciones de poste y tafos en aceite cuya potencia no sobrepase los 112.5 kVA” (CENS, 2016)[5].
- Según la norma de CENS en el capitulo cuatro dice que “Las normas exigen que toda subestación debe disponer con dos tipos de protecciones principalmente las de sobretensión y la de sobrecorriente. para el caso de los circuitos que están protegidos por fusibles, deben tener el estudio de coordinación de protecciones y garantizar la protección del equipo” (CENS, 2016)[5].
- Según la norma de CENS en el capitulo cuatro dice que “Todo tipo de transformador de contar con un dispositovo de SPT para la conexión de su

carcaza del tanque, gabinete, núcleo y el neutro sin dejar por fuera los requerimientos de las normas técnicas aplicables” (CENS, 2016)[5].

- *Según la norma de CENS en el capítulo cuatro dice que “deben tener un aviso que mencione la operación sin tensión en los transformadores sumergidos en refrigerante líquido y que posean un conmutador en derivación que opera en el exterior sin tensión” (CENS, 2016)[5].*
- *Según la norma de CENS en el capítulo cuatro dice que “se debe disponer de un dispositivo de alivio para las sobre presiones automático, esto para transformadores con refrigerantes y además debe ser reemplazable fácilmente, el cual debe operar a una presión inferior a la máxima soportada por el tanque” (CENS, 2016)[5].*
- *Según la norma de CENS en el capítulo cuatro dice que “se debe disponer de un dispositivo para levantar los transformadores de distribución. además su factor de seguridad no debe ser inferior a cinco y de tres para trafos secos. por otro lado el esfuerzo de trabajo máximo en los dispositivos del levantamiento por la carga estupefacta del trazo construido completamente.” (CENS, 2016)[5].*
- *Según la norma de CENS en el capítulo cuatro dice que “no debe superarse el nivel máximo de ruido establecidos en las normas que especifican al producto” (CENS, 2016)[5].*
- *Según la norma de CENS en el capítulo cuatro dice que “no está permitido la construcción de redes aéreas de BT y MT y mucho menos montajes de centros de transformación en medios de conservación histórica o de acuerdo al plan de ordenamiento territorial (POT) así lo disponga” (CENS, 2016)[5].*

4.2.2 CONFIGURACIÓN DE UNA SUBESTACIÓN

Para entender el interés de poseer varias S/E de MT y AT. Existen básicamente dos tendencias, existe el modelo europeo o conexión de barras y la americana o la conexión de interruptores. Para dar cumplimiento a las diferentes configuraciones se dispone la información suministrada por agentes del mercado (XM)[6]. A continuación, se describen los diferentes tipos de configuraciones:

4.2.2 CONFIGURACIONES DE CONEXIÓN DE BARRAS.

Según el agente del mercado de energía de Colombia (XM), se toman las siguientes definiciones de las diferentes configuraciones de barras en una subestación eléctrica, quedando de la siguiente manera[6].

- Barra sencilla: *“Este tipo de configuración tiene la excelencia de ser Económica, doctil de asegurar, la ocupación del medio es reducida y las posibilidades de operación de manera inadecuada es casi nula. Por otro lado esta S/E presenta desventaja: presenta ausencia de confiabilidad, seguridad y flexibilidad teniendo así que suspender el servicio en forma total cuando se requiera hacer una revisión ó reparación en la barra colectora, o del circuito cuando la revisión o reparación es en el interruptor” [6].*
- Barra principal y barra de transferencia: *“Este tipo de configuración se presenta la opción de que cada campo de conexión se puede conmutar por medio del interruptor de transferencia a la barra de transferencia, conservando en esta forma el servicio de la carga respectiva concluye una excelente confiabilidad la S/E cuando en tiempos de sostenimiento o como lo es el caso de las faltas.” [6].*
- Doble barra: *“ Analizando su esquema de conexión se puede asegurar que entre sus características está la flexibilidad y la confiabilidad, lo que conlleva a aislar los circuitos en los barrajes. También se puede notar que la seguridad no está dentro de sus destacadas características a la hora de haber una falta en sus elementos. Es recomendable hacer labores de mantenimiento en los barrajes sin quitar el suministro de energía en sus cargas. a razones de sus características es correcto decir que no hay necesidad de hacer cruces de líneas en bocas de la estación transformadora.” [6].*
- Doble barra más seccionador de by-pass: *“Este modelo de subestación necesita una gran cantidad de números de equipos utilizados en campo, por lo anterior se puede concluir que se presenta una alta probabilidad de operar de manera inadecuada cuando se vaya a maniobrar” [6].*

- Doble barra más seccionador de transferencia: *“Es una configuración que alterna a la de seccionado- by pass, pero para su operación usa un seccionamiento menos. por otro lado considera las características similares a la configuración ya mencionada y más aún en el momento en que se extravea la flexibilidad de hacer la transferencia por medio de cualquiera de las barras. En este caso específico solo la segunda barra es conveniente usar para transferencias”* [6].
- Doble barra más barra de transferencia: *“Es una aleación de la barra principal y las barras de transferencia y la doble, teniendo como fin una unificación que brinda al mismo tiempo flexible y confiable. Usados comúnmente con dos interruptores para las funciones de acople y transferencia, respectivamente, ejecutándose en forma simultánea ambas operaciones”* [6].

4.2.4 CONFIGURACIONES DE CONEXIÓN DE INTERRUPTORES

- Anillo: *“En esta configuración la barra es un anillo y está conformado por interruptores. para separar un circuito por una largo tiempo, el procedimiento a seguir es abrir el seccionador de la línea y de esta manera cerrar los interruptores dispuestos en este circuito y de esta manera se da continuidad. Este diseño es economico, confiable y seguro en el caso que todos sus interruptores no esten abiertos. por el caso contrario en el caso que exista alguna falta, mientras se realizan labores de mantenimiento en otro, la configuración estará sujeta a suspender el servicio en algunos circuitos o discontinuarse la seguridad del sistema. para cuestiones de seguridad esta S/E es parecida a la de barra sencilla. Las fuentes de energía se deben variar con las cargas para efectos de corriente”* [6].
- Interruptor y medio: *“En esta disposición implementan tres interruptores por cada dos salidas. A razón de contingencia se le puede hacer mantenimiento a cualquier interruptor a las diferentes barras sin necesidad de efectuar un corte de energía, además de esto no se altera el sistema de protección. Ante una falta en cualquier barraje no se suspenderá el suministro de energía en ninguno de los circuitos conectados. Este tipo de subestaciones son confiables y seguras tanto a las faltas en cualquiera de los interruptores como en los circuitos y en los barrajes. pero hay que mencionar que no es flexible ya que se manobra con los barrajes energizados y todos los interruptores cerrados. tener dos barrajes no garantiza que los circuitos se puedan disponer en forma indeoendiente en cualquiera de las dos barras, como lo es el caso de la configuración en doble barra. Existe una dificultad asociada en la protección ya que se complican por motivo de disponer un*

interruptor en medio de los circuitos y se debe operar con uno u otro circuito asociado a esta.”[6].

- *Doble barra con doble interruptor: “En este arreglo se duplican los interruptores de potencia y las barras en cada circuito. esta dispone de una mayor seguridad para faltas en los barrajes como en los interruptores mismos. Tiene mayor liberación para la revisión, operaciones y los mantenimientos. Si se desea una mejor seguridad en los ramales, se recomienda conectar las dos barras; es decir, la mayoría de sus interruptores indispuerto (cerrados) y ambos barrajes energizados. Esta configuración tiene un costo más elevado que el resto de configuraciones a raíz de la seguridad desde el punto de vista en el suministro de energía, por lo que se puede decir que su instalación debe ser bien justificada.”[6].*

4.2.5 CARACTERISTICAS GENERALES DEL SITIO

Para asistir en detalles las características y el informe relacionado con el oficio adonde será localizada la subestación, requeridas para representar los respectivos diseños electromecánicos y civiles, es necesario efectuar un par de visita para reconocimiento y las actividades de recopilación de mensaje relacionada con el circunstancia, mano en el oficio como en las entidades públicas y privadas, circunscripción y hilera de la subestación, establecimiento de los parámetros ambientales y meteorológicos, determinación de la empozoñamiento ambiental conmemoración en el emplazamiento adonde será instalada la subestación y patrón de resistividad del ámbito, por lo que es necesario favor en abalorio los siguientes conceptos[7]:

4.2.5.1 ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS

Según (Mejía Villegas S.A.S, 2003) dicen que “este tipo de estudios determinan el levantamiento planimétrico y altimétrico del área del proyecto y su amarre al sistema de coordenadas establecidas para la subestación. El amarre puede realizarse con un GPS. Por otro lado losEl analisis topografico se efectua teniendo en cuenta la infromación guardada durante el reconocimiento del lugar, en las vías a levantar (si se requieren) y en la identificación de puntos de amarre. Se atienden los requerimientos de información mínima para el accionamiento de los diseños de las obras civiles de la subestación y para establecer los punto limites del terreno”[7].

4.2.5.2 ESTUDIOS GEOTÉCNICOS

Según (Mejía Villegas S.A.S, 2003) *“establecen que el análisis geotécnico se define como un conjunto de actividades que tienen por objeto de la investigación del subsuelo con el fin de recomendar los criterios necesarios para el diseño y construcción de las obras en contacto con el suelo para garantizar su comportamiento adecuado.*

El alcance del análisis geotécnicos se determina basandose en la visita de inspección y en las características geomorfológicas del lugar donde se construirá la subestación en el reconocimiento de las vías de acceso a construir (si se requieren), en la urbanización del predio y en las características del edificio de control y de los equipos”[7].

4.2.5.3 ESTUDIOS SÍSMICOS

Los estudios para la evaluación de la amenaza sísmica local, Según (Mejía Villegas S.A.S, 2003) *“se realizan con el fin de establecer los efectos sísmicos a considerar en el diseño de las obras civiles y estructuras metálicas y en las verificaciones de la confiabilidad sísmica de los equipos electromecánicos del proyecto.*

Los estudios para la evaluación de la amenaza sísmica local se realizan, para el caso colombiano, con base en los catálogos sísmicos de la Red sismológica Nacional y de Ingeominas, en la información geológica disponible de la zona del proyecto y en los estudios de suelos correspondientes al sitio del proyecto”[7].

4.2.5.4 ASPECTOS AMBIENTALES

Para este tipo de aspecto Según (Mejía Villegas S.A.S, 2003) *“se reconocen y se tantean los impactos que podrían causar una subestación hacia el entorno en cada una de sus etapas de construcción y operación, bajo la mirada objetiva de cinco dimensiones de análisis: cultural, política, económica, física y biótica.*

Se elaboran documentos de diseño para la evaluación de posibles escenarios, con los cuales se puede construir un documento ambiental, según la legislación vigente, en el sitio de instalación de la subestación”[7].

4.2.5.5 URBANIZACIÓN Y DISPOSICIÓN FÍSICA

Para esta etapa Según (Mejía Villegas S.A.S, 2003) , *“se realizan la urbanización del predio y las disposiciones físicas definitivas de los diferentes patios de conexión que pueda tener la subestación. Una vez que se han determinado las diferentes áreas se procede a urbanizar el predio de la subestación, lo cual consiste en distribuir dichas áreas en tal forma que se ocupe el menor espacio sin que existan interferencias entre ellas, ni problemas de acceso y circulación”[7].*

4.2.5.6 NIVELES DE TENSIÓN:

Los sistemas de transmisión Regional y sistema de distribución local se caracterizan con sus niveles de tensión, de acuerdo a la tensión nominal de operar. según la siguiente definición[8]:

- Nivel 4: sistemas con tensión nominal (57,5 kV \leq Tensión < 220 kV).
- Nivel 3: sistemas con tensión nominal (\leq 30 kV Tensión < 57,5 kV).
- Nivel 2: sistemas con tensión nominal (1 kV \leq Tensión < 30 kV).
- Nivel 1: sistemas con tensión nominal < 1 kV.

4.2.6 COORDINACIÓN ENTRE AGENTES

Según la CREG en respuesta a la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), con el radicado E-2018-008101 lo cual desprende las siguientes definiciones[9]:

MERCADO DE COMERCIALIZACIÓN: Según la (CREG) se define como “universalidad de usuarios regulados y no regulados conectados a un mismo STR y/o SDL, servido por un mismo OR. También hacen parte del comercio de comercialización los usuarios conectados a bocajarro al Sistema de Transmisión Nacional del circunscripción de asidero del respectivo Operador de Red, así como los usuarios conectados a activos de un TR internamente de una misma espacio” [9].

OPERADOR DE RED DE STR Y SDL, OR: Según la CREG se define como “*personal dispuesto a la planeación de expansión, la operación las inversiones y mantenimientos de todo el sistema interconectado nacional o parte del sistema de distribución local, incluyendo sus conexiones al STN. Los activos pueden ser de su pertenencia o de algún tercero. El Operador de <Red siempre será una empresa dedicada a los servicios públicos domiciliarios. para todos los cargos las empresas tienen responsabilidad por el uso del STN y SDL aprobados por la CREG La unidad mínima de un SDL para que un OR solicite cargos por uso corresponde a un municipio*”[9].

RESPONSABILIDAD DEL OR EN LA PLANEACIÓN DE SU SISTEMA: *“Las empresa (OR) es consciente de edificar el plan estratégico, el plan de acción y el plan financiero de que trata la resolución CREG 005 de 1996. El plan de expansión de OR deberá incluir todos los proyectos que requiera su sistema, considerando solicitudes efectuadas por terceros y que sean viables en el contexto de su plan financiero”[9].*

RESPONSABILIDAD POR LA EJECUCIÓN DE PROYECTOS INCLUIDOS EN EL PLAN DE EXPANSIÓN DEL OR: El OR es responsable por la ejecución del plan de expansión de la red que opera, en relación con la construcción de nuevas líneas, subestaciones y equipos que tengan carácter de uso general[9].

4.2.7 MÉTODOS PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA INVERSIÓN Y EL USO DE LOS RECURSOS DE LA EXPANSIÓN DE SUBESTACIONES ELÉCTRICAS.

Dentro de este capítulo se describirán algunas de las metodologías que existen para el proceso de expansión de subestaciones eléctricas. Para ello se seleccionaron dos metodologías y además de esto, se describe la metodología que existe en el plan de expansión de generación transmisión dentro de la Unidad de Planeación Minero Energética colombiana[9].

4.2.7.1 METODOLOGÍA ADOPTADA POR SALT RIVER PROJECT (SRP)

La metodología fue desarrollada en Arizona estados unidos, y una de las razones principales para incorporar esta metodología a la empresa es que la población estaba creciendo exponencialmente, por tanto, se debía expandir las subestaciones y de esta manera no dejar cargas sin atender. La metodología propone una lista de actividades para proyectos de ampliación de subestaciones de 230 kV. Actividades como aprobaciones legales, alcance comunitario, coordinación de interrupciones, etc., están más allá del alcance de esta metodología[2].

Lista de actividades

- A. Determine los requisitos u objetivos mínimos:
 1. Número de transformadores adicionales y bahías de línea de transmisión
 2. Cualquier espacio específico o restricciones de acceso
- B. Calcular nuevos valores nominales de corriente continua y de falla.
- C. Evaluar fuerzas mecánicas y térmicas de estructuras y conductores de bus
- D. Evaluación completa de la red de puesta a tierra
- E. Evaluar el efecto sobre los dispositivos de interrupción de corriente existentes.
- F. Evaluar los esquemas de protección y medición

- G. Estudio completo del transformador
- H. Verifique el diseño del edificio de la casa de control, CC, CA, SCADA y sistemas de comunicación
- I. Evaluar las líneas de transmisión
- J. Verifique la protección contra rayos
- K. Evaluar limitadores de corriente de falla disponible
- L. Realizar análisis de costo / beneficio de las variaciones de diseño.
- M. Obtener la concurrencia de todos los departamentos

DISCUSIÓN DETALLADA DE LAS ACTIVIDADES.

- A. Determine los requisitos u objetivos mínimos.

El objetivo de cualquier proyecto de expansión es servir a las crecientes carga del sistema de manera confiable mientras se mantiene la flexibilidad operativa. Para cualquier proyecto de expansión, la primera tarea es determinar cómo muchos transformadores nuevos y / o bahías de líneas de transmisión deben agregarse para los requisitos futuros del sistema (dentro de los próximos diez a veinte años).

- B. Calcular nuevos valores nominales de corriente continua y de falla.

Una vez que se determina el alcance de expansión presente y futuro, se deben determinar las clasificaciones de corriente continua y de falla de todo el equipo y el trabajo del bus.

- C. Evaluar las fuerzas mecánicas y térmicas en las estructuras y conductores de bus.

La adición de cualquier elemento de transmisión y / o generación aumentará la contribución de la corriente de falla de cortocircuito a la subestación. Un mayor nivel de corrientes de cortocircuito produce tensiones térmicas y mecánicas adicionales en el trabajo y los conductores del bus de la subestación. Primero, los cálculos preliminares deben ser realizados por el diseño de la subestación. Si los cálculos de diseño preliminares garantizan una evaluación más precisa de la respuesta de las estructuras y la barra a las corrientes de cortocircuito, se utiliza un análisis incremental dinámico de elementos finitos no lineales. Para lograr un rendimiento libre de corona, también se deben evaluar los conductores de bus, los accesorios y las terminaciones para detectar posibles descargas de corona. Si el diseño lo justifica, también se deben evaluar opciones como configuración de barra triangular, barra aislada en gas y una fase subterránea.

D. Evaluación completa de la red de puesta a tierra.

Es probable que un proyecto de expansión afecte la red de puesta a tierra existente. Dichos impactos incluyen contribuciones adicionales de corriente de falla a tierra de nuevas fuentes, extensión de la red existente para una expansión del sitio y modificaciones físicas a la red existente para acomodar la instalación de nuevos equipos. Esto podría tener impactos adversos, que incluyen, entre otros, reducción de la seguridad, daño físico y mal funcionamiento. Puede aumentar el potencial de paso y contacto, lo que puede reducir la seguridad eléctrica en la subestación.

E. Evaluar el efecto sobre los dispositivos de interrupción de corriente existentes.

La tecnología de interruptores disponible en la actualidad impone límites superiores a la cantidad de corriente de falla que se puede interrumpir. Cuanto mayor sea la corriente de falla por encima de un valor de umbral, mayor será la probabilidad de que un interruptor automático no pueda interrumpir con éxito la falla.

F. Evaluar los esquemas de protección y medición

La expansión generalmente aumenta las corrientes de falla disponibles y se sabe que las corrientes de falla más altas causan la saturación de los transformadores de corriente (TC) de núcleo de hierro. Esto puede hacer que la corriente secundaria del TC se distorsione significativamente y disminuya en magnitud, incluso con una carga muy pequeña.

G. Estudio completo del transformador.

En el peor de los casos, las corrientes de falla más altas crean suficientes fuerzas mecánicas para dañar grandes transformadores de potencia y el aumento de la corriente de cortocircuito también es motivo de preocupación, especialmente en los transformadores viejos. Durante cualquier proyecto de expansión, se debe analizar la idoneidad de los transformadores existentes para una mayor corriente de falla.

H. Verifique el diseño del edificio de la casa de control, CC, CA, SCADA y sistemas de comunicación.

Con base en el alcance de la expansión, se debe realizar un análisis detallado para el diseño de la casa de control para acomodar paneles de control y relés adicionales, junto con el cableado asociado. El objetivo de este análisis debe ser minimizar el costo asociado con la expansión requerida sin comprometer la seguridad y confiabilidad de la subestación. Los cálculos para las cargas de CC y CA incluidas las cargas nuevas, son realizados para asegurar que haya

suficiente capacidad disponible en el sistema de CC existente y la Red de distribución de CA soporte una expansión del proyecto.

I. Evaluar las líneas de transmisión.

En ciertos casos, la expansión de la subestación resulta en un aumento del flujo de energía en las líneas de transmisión existentes. Se realiza un estudio detallado para abordar los factores críticos relacionados con los límites de flujo de energía para las líneas de transmisión, entre ellos están las cargas de impedancia de sobretensión, Caída de voltaje, Límites térmicos, Límites ambientales.

J. Verifique la protección contra rayos

Durante la expansión de una subestación, se requiere que todas las subestaciones deben estar protegidas contra los rayos para evitar daños a equipos costosos.

K. Evaluar los limitadores de corriente de falla disponibles.

Hay dos tipos de medidas posibles para limitar las corrientes de falla; uno es "pasivo" donde se introduce una impedancia más alta para todas las condiciones y el segundo es "activo" donde se introduce una impedancia más alta solo durante las condiciones de falla.

L. Realizar un análisis de costo / beneficio de las variaciones de diseño (si requerido).

se realiza un análisis de costo / beneficio. Factores como la confiabilidad, la facilidad de operación y las futuras necesidades de expansión son algunos de los temas considerados durante este estudio junto con el costo asociado de varias opciones.

M. Obtener la concurrencia de todos los departamentos.

Una vez que se finaliza el diseño conceptual para un proyecto de expansión, todos los departamentos involucrados son notificados con el diseño propuesto para sus comentarios y aprobación. Dichos departamentos incluyen, entre otros, Diseño y planificación de la transmisión, Diseño y construcción de subestaciones, Protección de sistemas, Ingeniería de control, Servicios de ingeniería, Ingeniería de aparatos, Política, procedimientos y normas, Mantenimiento de subestaciones, etc. Cualquier departamento no puede aceptar el diseño propuesto por razones válidas, el proceso de diseño se repetirá.

4.2.8 METODOLOGÍA POR COLONIA DE HORMIGAS

Según (Carlos Arturo Robles, 2010) en el resumen de su artículo de optimización por colonia de hormigas menciona que las hormigas se comunican a través de sus feromonas, las cuales son sustancias que les permiten encontrar los caminos más cortos entre su nido y la fuente de alimentos. La optimización por colonia de hormigas (och) es un método meta heurístico basado en el comportamiento real de este insecto. Está compuesto por algoritmos utilizados para obtener soluciones a problemas complejos y de optimización en una cantidad razonable de tiempo de cómputo[10].

4.2.8.1 TEORÍA DE COLONIA DE HORMIGAS

Para considerar la teoría se tendrá en cuenta la *figura 2*. Donde “se considera que las hormigas llegan a una zona en el cual tienen que enjuiciar si giran a la izquierda o la derecha. Como inicialmente no hay presencia de feromonas en ambos caminos alternativos, los comicios son realizados aleatoriamente. Se computa que en media el medio de las hormigas gira al babor y el otro medio decide rodar a la derecha. Lo exterior ocurre baza para las que se desplazan de costado a derecha cuya honra empieza con L, y para las que se desplazan de derecha a costado cuya nota empieza con R

En la figura 1 se muestra lo que ocurre en un tiempo determinado, Suponiendo que todas las hormigas caminan a la misma apresuramiento. El emblema de líneas punteadas es proporcional a la número de feromonas que los insectos han depositado en el tierra, como el ringlera inferior es más exiguo que el caudillo, muchas más hormigas transitarán por éste durante el mismo estación de asamblea. Esto implica que en el recta más endeble se acumula más feromona enormemente más rápido. Después de definitivo tiempo, la oposición en la número de feromona en entre ambos caminos es lo suficientemente alto para influenciar la solución de las nuevas hormigas que entren a cruzar estas vías”[10].

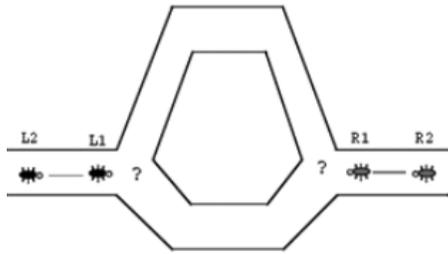


Figura 2. Entrada de Hormigas
 Fuente: Carlos Arturo Robles, 2010, P.3

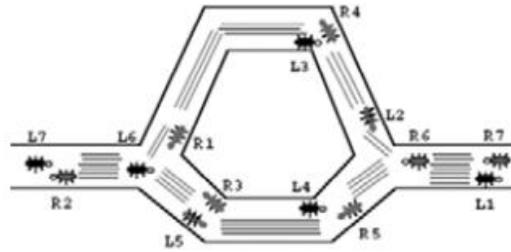


Figura 1. Feromonas depositadas
 Fuente: Carlos Arturo Robles, 2010, P.3

Teniendo en cuenta lo primero las nuevas hormigas que entren al sistema preferirán clasificar el camino inferior o más escaso kiosco que perciben una máximo dígito de feromona en ése.

Pasos a tener en cuenta para la solución de un algoritmo por colonización de hormigas.

Para solucionar los diversos algoritmos que existen sobre la metodología por colonización de hormigas el autor (Carlos Arturo Robles, 2010), propone los siguientes pasos en su artículo[10].

- Simbolizar el desasosiego con un generalidad de componentes o transiciones a través de un universalismo de grafos con su respectivo travesaño. Cada uno de estos representa los recorridos biografía por las hormigas para la decisión de problemas.
- Conocer de modo detallado y minuciosa el preocupación a descifrar para así universidad achacar apropiadamente los rastros de feromona, kiosco que esto influye bruscamente en el sujeto de opción a cobrar. Concretar la preferencia heurística de cada decisión que debe tomar una hormiga mientras que se está construyendo una solución a un problema determinado.
- En la medida en que el problema lo permita, se debe implementar una búsqueda local eficiente para problemas de optimización combinatoria complejos.
- Seleccionar un operación OCH exclusivo para así otorgamiento aplicarlo al desasosiego a dilucidar.
- Refinar los parámetros seleccionados, para lo cual es recomendable beneficiarse resultados amistades con antelación de otras aplicaciones similares y que han sido exitosos.

los pasos mencionados por el autor dan una idea o una solución general al algoritmo debido a que no todos los problemas son iguales.

4.2.9 METODOLOGÍA DEL PLAN DE EXPANSIÓN GENERACIÓN – TRANSMISIÓN EN COLOMBIA

Para las metodologías aplicadas, se tomó la información del plan de expansión de generación-transmisión en su versión más reciente publicada por la Unidad de Planeación Minero Energética-UPME que es la de 2019-2033[11].

4.2.9.1 METODOLOGÍA DE PLANIFICACIÓN DE LA EXPANSIÓN DE LA GENERACIÓN

Según la metodología utilizada por la UPME “dice que a nivel de generación el plan tiene como principal objetivo proveer información y señales de corto, mediano y largo plazo, a los diferentes agentes económicos, sobre la inversión en generación de energía eléctrica requerida para garantizar un suministro confiable, económico, sostenible y eficiente de la electricidad en el país. En este sentido, a fin de determinar la posible expansión del sistema, el plan de Generación plantea diferentes escenarios indicativos según la conducta de variables como la demanda de energía, disponibilidad de recursos energéticos, interconexiones eléctricas internacionales, desarrollo de proyectos en el país vecino, etc.

De las variables más importantes de la metodología es la proyección de la demanda de energía eléctrica, por tanto, el análisis parte de las expectativas del crecimiento económico de la población y de la evolución más reciente de la misma demanda. Posteriormente se lleva a cabo el análisis de disponibilidad de los recursos energéticos, así como la proyección de precios. información junto con el seguimiento a los proyectos del cargo por confiabilidad y aquellos que están en construcción, al igual que otras consideraciones, como son las interconexiones internacionales y las posibilidades de incorporación de recursos no convencionales de energía, son de vital importancia al momento de construir y definir los escenarios del plan de expansión de Generación.

Continuando con los pasos de la metodología se detalla cada escenario establecido en las señalizaciones de confiabilidad energéticas, a estimar, el Valor Esperado de Racionamiento Energía (VERE), el Valor Esperado de Racionamiento Energía Condicionado (VEREC) y número de casos con déficit”[11].

Tabla 1. Indicadores de confiabilidad según la UPME[11]

INDICADOR	DEFINICIÓN	EXPRESIÓN MATEMÁTICA
<i>VERE</i>	Relación de la energía mensual relacionada en meses, con la demanda nacional en meses	$VERE = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\text{Energía mensual racionada}(i)}{n} \right)}{\text{Deman. Nacional de Energía (mes)}}$ <p>n: Número de casos simulados</p>
<i>VEREC</i>	Es el promedio de energía concatenado en un mes, entre la demanda nacional esperada	$VEREC = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\text{Energía mensual racionada}(i)}{m} \right)}{\text{Deman. Nacional de Energía (mes)}}$ <p>m: Número de casos con déficit</p>
<i>Número de casos de déficit</i>	Número de eventos durante todo el horizonte de planeamiento donde se presenta racionamiento de energía.	

una vez se tengan los cálculos del índice de confiabilidad, se determinan si estos cumplen con lo establecido por la Resolución CREG de 1995, donde se establece que el VERE y VEREC no puede superar al 1.5 y el 3% respectivamente y el número de déficit no puede ser superior a 5. Por lo anterior se cumple se puede determinar una expansión de las diferentes granjas de generación para las diferentes variables que están sometidas a estudios y el comportamiento de algunas variables, tales como el costo marginal de los sistemas y de la generación con tecnologías, si esto no cumple, el paso a seguir es determinar la mínima capacidad de generación adicional que facilite lograr los indicadores de confiabilidad durante la trazabilidad del análisis efectuado, y de esta manera determinar finalmente expansión en el parque generador [11].

A demás de ello es imprescindible resaltar que el cálculo de la capacidad de generación mínima es regida a una serie de análisis de unas alternativas, que se tienen en cuenta en los proyectos u opciones de diferentes tecnologías de expansión que se tienen estudiadas en la base de datos de los proyectos en la UPME, y algunas otras de fuerza mayor en cuanto a disponibilidad y a menor costo. Con lo anterior se debe simular nuevamente el sistema, haciendo los cálculos de confiabilidad y además se debe estudiar el comportamiento de las principales variables, para así concluir la expansión a nivel de generación [11].

A continuación, se presenta la *Figura 3*, donde se la metodología general de planificación de generación y la red de transmisión.

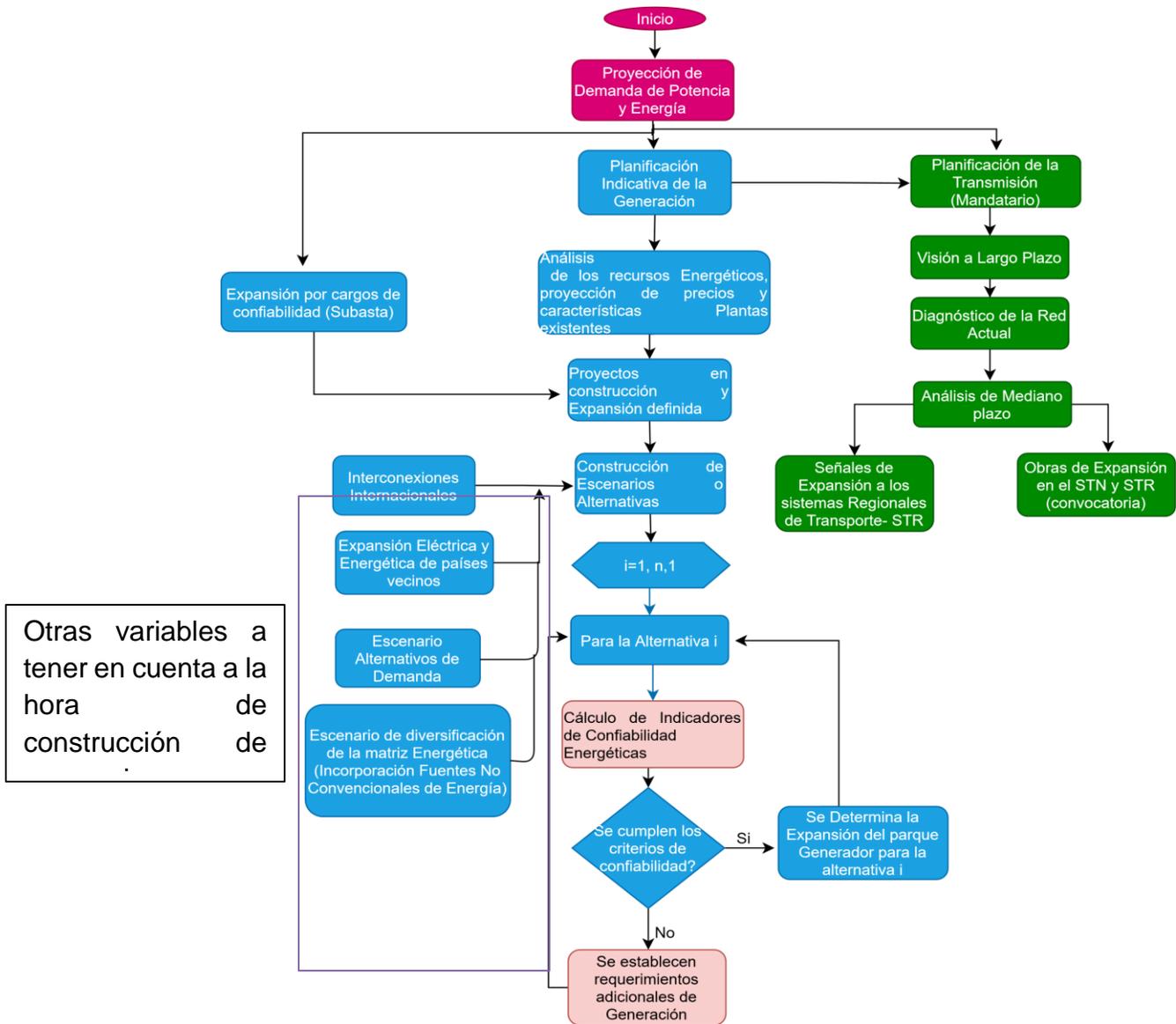


Figura 3. Metodología general de planificación de generación y la red de transmisión

Fuente: UPME[11]

4.2.9.2 METODOLOGÍA GENERAL DE PLANIFICACIÓN PARA LAS REDES DE TRANSMISIÓN

“A lo largo del desarrollo de un plan de expansión en las redes de transmisión propuesto por la UPME, Primeramente se debe iniciar realizando un diagnóstico del estado de la red actual, por ende se fijará como marco de referencia. Seguidamente, se plantea un sistema de objetivos a modo de visión a largo plazo, orientando de esta manera la expansión de corto, mediano y largo plazo, para dar soluciones a las deficiencias y necesidades ya identificadas. Lo que sigue es realizar un estudio eléctrico para balances de generación y demanda, investigaciones eléctricas de flujo de carga, corto circuito, análisis de estabilidad transitoria y por último de voltaje. Adicionalmente se encuentran transferencias entre áreas, limitaciones de exportación o importación, energía no suministrada por el agotamiento de la red, y generación de seguridad, entre otro.

Dentro de esta metodología existen modos que acarrear activos que se pueden remunerar vía cargos por uso, se ejecuta el correspondiente estudio económico desde el punto de vista del usuario, que es quien finalmente paga la tarifa. En este orden de ideas, se estiman los sobrecostos operativos y la energía dejada de suministrar producto del agotamiento y la baja confiabilidad de la red. Para dar cumplimiento a la metodología, Se establecen las obras del sistema de transmisión de energía nacional- STN que deben accionarse por medio del mecanismo de convocatorias públicas y se establece las señales y las recomendaciones para los sistemas de transporte regionales-STR[11].

A continuación, se muestran las consideraciones tenidas en cuenta en la planificación.

- Se resuelve el escenario de proyecciones de la demanda. La Unidad de Planeación Minero Energetica-UPME usa el escenario alto, con el fin de determinar un margen frente al aumento real, ser coherentes con la definición de la CREG-(Comisión de Regulación de Energía y Gas), respecto a las consideraciones para la perfilación de los proyecto por cargo de confiabilidad.
- Se establece el horizonte de analisis a corto, a mediano y a largo plazo
- Se establece la capacidad instalada de generación y la expansión definida.
- Se tiene en cuenta los distintos escenarios de despacho
- Se considera las máximas capacidades de intercambio para las interconexiones internacionales.
- Se tiene en cuenta la expansión definida para subestaciones regionales

- Se atiende los grandes usuario, o también denominados cargas industriales.
- En el estado de contingencia se consideran los límites de sobrecarga permitida.
- Según el último plan de expansión, se considera las expansiones que ya están definidas.

Por lo anterior se presenta en forma de diagrama de flujo la metodología de forma general en la *Figura 4*.

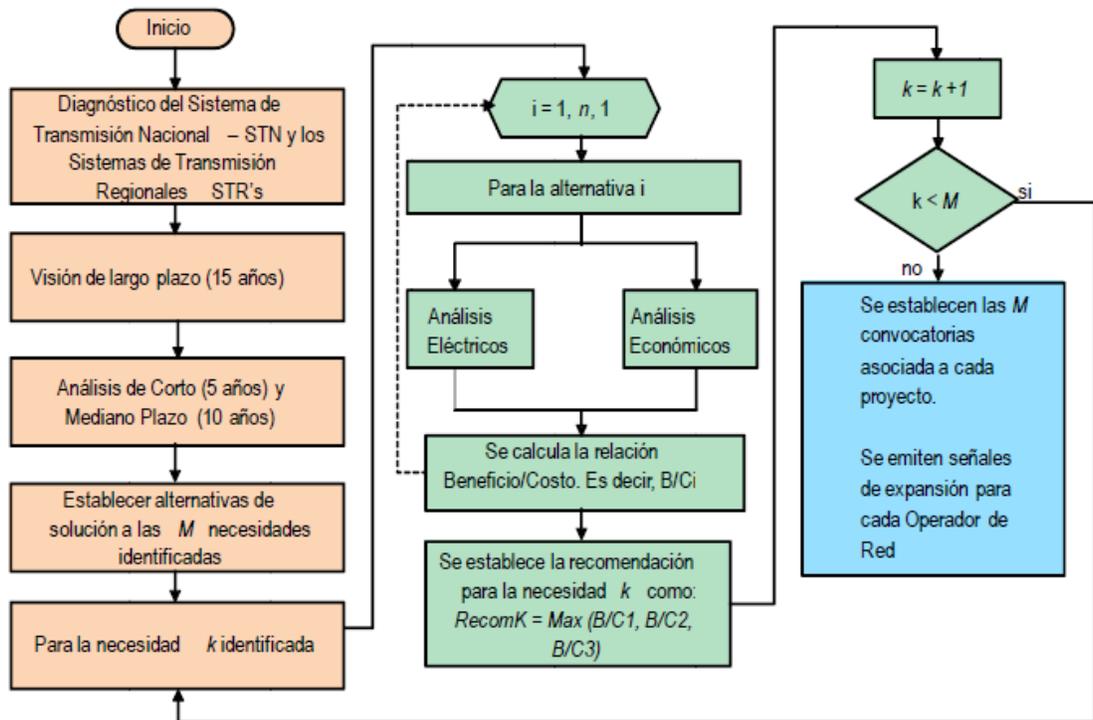


Figura 4. Metodología General para la Planificación del STN.

Fuente: UPME

4.3 MARCO CONCEPTUAL

Para efectos del presente marco, se tomaron los siguientes conceptos del Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas- RETIE[12], con el fin de brindar un concepto general acerca de algunos términos utilizado en el proyecto.

- **SUBESTACIÓN ELÉCTRICA:** según el (RETIE, 2013), se define como *“Conjunto único de instalaciones, equipos eléctricos y obras complementarias, destinado a la transferencia de energía eléctrica, mediante la transformación de potencia”*. [12]
- **OPERADOR DE RED:** según el (RETIE, 2013) se define como *“Empresa de Servicios Públicos encargada de la planeación, de la expansión y de las inversiones, operación y mantenimiento de todo o parte de un Sistema de Transmisión Regional o un Sistema de Distribución Local”*. [12]
- **TENSIÓN:** según el (RETIE, 2013) *“la diferencia de potencial eléctrico entre dos elementos, que hace que fluyan electrones por una resistencia que los una. tensión es una magnitud, cuya unidad es el voltio (V)”*. [12]
- **CARGABILIDAD:** según el (RETIE, 2013) *“Límite de capacidad declarado para líneas de transporte de energía, transformadores, entre otros, originado por restricciones tales como: de tipo térmico, de regulación de tensión o de estabilidad”*. [12]
- **ATENCIÓN DE LA DEMANDA:** según el (RETIE, 2013) *“para planear una expansión se debe soportar las proyecciones de demanda cuya estimación se realiza mediante modelos técnico-económicos disponibles para tal efecto”*. [12]
- **FLEXIBILIDAD:** según el (RETIE, 2013) *“Es el carácter de una subestación para adaptarse a las diferentes condiciones probabilísticas en cambios de operación en el sistema o de contingencias de mantenimientos”*. [12]
- **CONFIABILIDAD:** según el (RETIE, 2013) *“Puede tomarse como la versatilidad de una subestación suministre energía durante un tiempo estimado, todo esto en consideración de que un componente de la subestación esté sin operar (Barrajes, interruptores, líneas, etc). Existe una técnica llamada cadena de markov el cual analiza las tasas de falla y de reposición de equipos tanto para falla cómo también para casos de mantenimiento”*. [12]

- **SEGURIDAD:** según el (RETIE, 2013) “Se define como la propiedad de una instalación eléctrica de suministrar continuidad en el servicio sin ningún tipo de interrupción durante el evento de una falla en los equipos de potencia, esencialmente en los barrajes e interruptores. Por lo general la seguridad conlleva confiabilidad y está determinada por la potencia que se corrompe durante eventos de falla y en algunos casos de mantenimiento y en su impacto en la estabilidad del sistema”. [12]

4.4 MARCO NORMATIVO

Se presenta a modo general las normas que se tienen en cuenta para la elaboración de diseño y metodología de selección de equipos se considera la utilización de las normas establecidas por la compañía dueña de la instalación; dentro de las recomendaciones de la IEC, la siguiente tabla se muestra las más importantes en el área de subestaciones[7].

Tabla 2. Aspectos normativos para el diseño de una subestación eléctricas[7]

NORMA	DESCRIPCIÓN	NORMA	DESCRIPCIÓN
IEC 60038	Tensiones asignadas	IEC 60255	Relés de protección
IEC 60044	Transformadores de instrumentos	IEC 60289	Reactores
IEC 60071	Coordinación de aislamiento	IEC 60296	Aceite mineral
IEC 60076	Transformadores de potencia	IEC 60297	Dimensiones de tableros y bastidores
IEC 60099	pararrayos	IEC 60353	Bobinas de bloqueo
IEC 60114	Barrajes de aluminio	IEC 60376	Determinación y aceptación del hexafluoruro de azufre
IEC 60120	Aisladores de suspensión	IEC 60481	Equipos de comunicación PLP
IEC 60137	Bujes para tensiones mayores de 1kV	IEC 60502	Cables de potencia XLPE
IEC 60143	Condensadores en serie	IEC 60517	Equipo encapsulado

			para tensiones superiores a 72, 5kV
IEC 60168	Aisladores de poste	IEC 60694	Clausulas comunes para el equipo de alta tensión
IEC 60227	Cables de control	IEC 60815	Selección de aisladores con respecto a condiciones contaminadas
IEC 60865	Cálculo de corrientes de corto circuito	IEC 61000	Compatibilidad electromagnética
IEC 60870	Equipos y sistemas de telecontrol	IEC 618089	Conductores
IEC 60871	Condensadores en derivación	IEC 61109	Aisladores compuestos
IEC 60896	Baterías de plomo-ácido	IEC 62271-100	interruptores
IEC 60947	Equipos de maniobra de baja tensión	IEC 62271-102	Seccionadores

Para el desarrollo de la metodología se va a tener en cuenta principalmente las normas nacionales por las cuales está regido el sistema eléctrico colombiano, entre ellas se tiene:

- CREG 025 de 1995 Por la cual se establece el Código de Redes, como parte del Reglamento de Operación del Sistema Interconectado Nacional.
- CREG 070 de 1998 propone el Reglamento de Distribución de Energía Eléctrica, como parte del Reglamento de Operación del Sistema Interconectado Nacional.
- CREG 097 de 2007 Se aprueban los principios generales y la metodología para el establecimiento de los cargos por uso de los Sistemas de Transmisión Regional y Distribución Local.

- CREG 015 Establece la metodología para la remuneración de la actividad de distribución de energía eléctrica en el Sistema Interconectado Nacional.
- CORPONOR RESOLUCIÓN 00121 DE 29 MARZO 2019 Por la cual se otorga una Licencia Ambiental y se dictan otras disposiciones.

4.4.1 ESTRUCTURA EXISTENTE DE CENTRALES ELÉCTRICAS DE NORTE DE SANTANDER

Para entender un poco la situación actual del Operador de Red del departamento Norte de Santander, se dispuso información actual del informe de sostenibilidad del año 2019 del OR. La empresa de Centrales Eléctricas de Norte de Santander (CENS S.A E.S.P) opera en cinco regiones del país, dentro de estas regiones se encuentran Ocaña, Cúcuta, Pamplona, Tibú y Aguachica. Conformadas por 47 municipios, de los cuales 40 se encuentran ubicados en el departamento de Norte de Santander, 6 en el sur del Cesar y 1 en el sur de Bolívar.

Según el informe de sostenibilidad de CENS del año 2019 atendieron 539.142, el cual 92.47% son clientes residenciales, 6.42% clientes comerciales, 0.27% son clientes industriales, 0.80% son clientes oficiales y por último 0.04% pertenece al alumbrado público.

Para el año 2019 dentro de la capacidad instalada se encuentra que tiene una potencia de 1.001MVA de distribución, 61 transformador de potencia, 26.709 km de líneas de transmisión y distribución, 21.390 transformadores de distribución, dentro de este informe se encuentra que para ese año tiene 40 subestaciones y una capacidad total de transformación de 1.290 MVA[13].

5. RESULTADOS

5.1 VARIABLES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA

Como se puede observar en las metodologías descritas en el capítulo anterior, se identifica que cada una de estas metodologías tiene un patrón donde hay una razón primordial para empezar a desarrollar el algoritmo o metodología. Para ir aterrizando las ideas en nuestro caso de estudio se van a describir cada una de las variables que se van a considerar en la metodología a desarrollar.

1. **Atención de la demanda:** Esta variable como se observa en la metodología implementada en la UPME para la planeación de los proyectos de expansión en generación-transmisión, será la primera debida que es muy importante suplir la demanda de energía mientras se realizan los proyectos de expansión. La planeación de la expansión deberá estar soportada en proyecciones de demanda cuya estimación se efectuará utilizando modelos técnico-económicos disponibles para tal efecto. Para efectos de cálculo de la atención de la demanda, se utiliza el método implementado por la UPME[14][15], u otros métodos aplicables[16].
2. **Adaptabilidad:** Los Planes de Expansión deberán apuntar los avances de la disertación y de la tecnología que aporten máximo especie y capacidad en la prestación de las tarea al menor costo ahorrativo [17].
3. **Flexibilidad:** Los diseños de Expansión de un OR, en su hechura, puede avezar modificaciones. El OR podrá intercalar obras no previstas y arrinconar aquellas que, por la dinámica de la solicitud, puedan ser pospuestas o eliminadas del Plan inicialmente consentido por la UPME..
4. **Viabilidad Ambiental:** Los diseños de Expansión deben obedecer las normas ambientales vigentes.
5. **Normas y Permisos:** Las obras de esplendor requeridas deben portarse con las normas pertinentes previstas por las autoridades competentes y aparecer los permisos correspondientes.
6. **Eficiencia Económica:** Los diseños de Expansión e inversiones deberán lucubrar la minimización de costos

7. **Calidad y Continuidad en el Suministro:** Los planes de inversión deberán afirmar los indicadores de raza que reglamenta la conmemoración Resolución y pignorar la continuidad del empleo mediante proyectos de suplencia, ampliación, automatización de la transacción, puesta al día e repertorio de repuestos, entre otros.
8. **Coordinación con el SIN:** Teniendo en cuentecilla que la adquisición y prosperidad de los STR's y/o SDL's deben ser coordinadas con el resto del Sistema Interconectado Nacional, el Operadpr de Red deberá maquinar su sistema considerando los planes de expansión en retransmisión y generación elaborados cada año por la UPME.

5.2 METODOLOGÍA DE PLANEACIÓN DE LA EXPANSIÓN EN SUBESTACIONES ELÉCTRICAS.

La principal razón o el objetivo principal de planeamiento de las subestaciones eléctricas es establecer de tal manera las necesidades indicativas que tiene el Operador de Red con base al comportamiento de su infraestructura eléctrica y sus variables principales, tal como la demanda de energía en las diferentes zonas donde opera, fechas de entrada en operación de proyectos, ya sean de generación de energía o entrada de grandes cargas.

Centrales Eléctricas de Norte de Santander- CENS tiene entre sus principales funciones satisfacer la demanda creciente de energía ante la población de su incumbencia, teniendo en cuenta la adaptabilidad del sistema, la flexibilidad de este, eficiencia económica, calidad y continuidad del servicio, coordinación con el SIN, viabilidad ambiental junto con sus normas y permisos.

De este modo en el marco de formulación del pan de expansión, se analiza el estado de las redes, junto con las subestaciones ubicadas en cada uno de los municipios, señalizando los efectos del aumento de la demanda y la entrada en operación nuevas cargas para satisfacer y respaldar todo el sistema de eléctrico de forma muy confiable, eficiente y segura.

Con el fin de determinar el plan de expansión bajo las variables ya descritas para una S/E en CENS, el primer aspecto a considerar es el estudio de la proyección de la demanda de energía eléctrica las cuales está prevista por el crecimiento de la población y la evolución más reciente de la demanda misma.

Posteriormente a la proyección de la demanda, lo que se hace es un estudio de la flexibilidad y adaptabilidad que tendría la nueva infraestructura, ya que estas son variables muy importantes a la hora de planificar. La subestación deberá ser flexible ante cualquier cambio operativo y/o por planificación de manteniendo, por otro lado, las subestaciones deben contar con la propiedad de adaptabilidad ante cualquier cambio o avances tanto científico como de tecnologías a utilizar para una mejor calidad en el servicio de energía eléctrica y un menor costo.

Como tercer paso se hace el estudio de eficiencia económica, para determinar si el proyecto es viable económicamente para su ejecución. En el estudio de esta variable lo que se determinara si el proyecto si provee más bienes y servicios a la sociedad utilizando los mismos recursos.

Como se observa la figura 5, el siguiente paso es analizar el impacto ambiental que el proyecto traería y revisar las normas de los entes que aplican para el caso en estudio, para el caso colombiano y de la región de cobertura de CENS aplica la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales-ANLA y Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental-CORPONOR. Las cuales son las encargadas de otorgar las licencias ambientales en caso de que cumplan con los requisitos propuestos en sus diferentes resoluciones.

Siguiendo con las normas y premisos que se requieren para ampliar y poner en marcha una subestación eléctrica, se analiza esta variable y se hace el estudio pertinente a los requisitos que las normas exigen para los niveles de tensión, para el caso en estudio los niveles de tensión para esta metodología inicialmente son de nivel II,III, IV según lo establece la CREG y sus respectivas tensiones nominales (13.2 kV, 34.5 kV, 115kV).

Se sabe que el sistema eléctrico debería seguir funcionando ante cualquier modificación o anomalía en el sistema para no afectar las cargas, entre ellos los grandes usuarios como lo son las industrias entre otros. Por lo anterior se plantea la siguiente variable que es calidad y continuidad del servicio, para que dentro de la planeación no se vea afectado cualquier sector eléctrico que esté involucrado dentro de la planeación y de este modo garantizar un excelente jaez del abastecimiento de energía.

Luego de tener todos los casos de las variables planteada y estudiadas, lo que resta es verificar si cada una de estas cumple con las exigencias de los entes que regulan cada sector. En caso de que las variables cumplan se emiten señales de expansión al Operador de Red, y este a su vez realizar un estudio si dicha expansión afecta

al sistema de distribución y si en dicho caso las redes de distribución se ven afectadas realizar una expansión en esta o una reconductorización. Por otro lado, si alguna de esta variable no cumple se vuelve al caso de planificación de la subestación y repetir los pasos mencionados anteriormente mencionados.

Existe otra variable dentro de esta metodología que se denominó expansión por confiabilidad de la subestación. Esta variable hace referencia al estudio interno de la infraestructura, donde se estudian las barras, transformador de potencia, sistemas de puesta a tierra, estudios de corto circuito y flujos de carga, entre otros aspectos que se considere pertinente a la hora de tener un correcto funcionamiento de la subestación eléctrica y cuando se finalicen estos estudios el acto seguido es verificar si este mantiene la calidad y continuidad del suministro de energía, en el escenario de cumplir se emite una señal de ampliación o modificación de la infraestructura. En la figura se observa el diagrama de flujo de la metodología desarrollada.

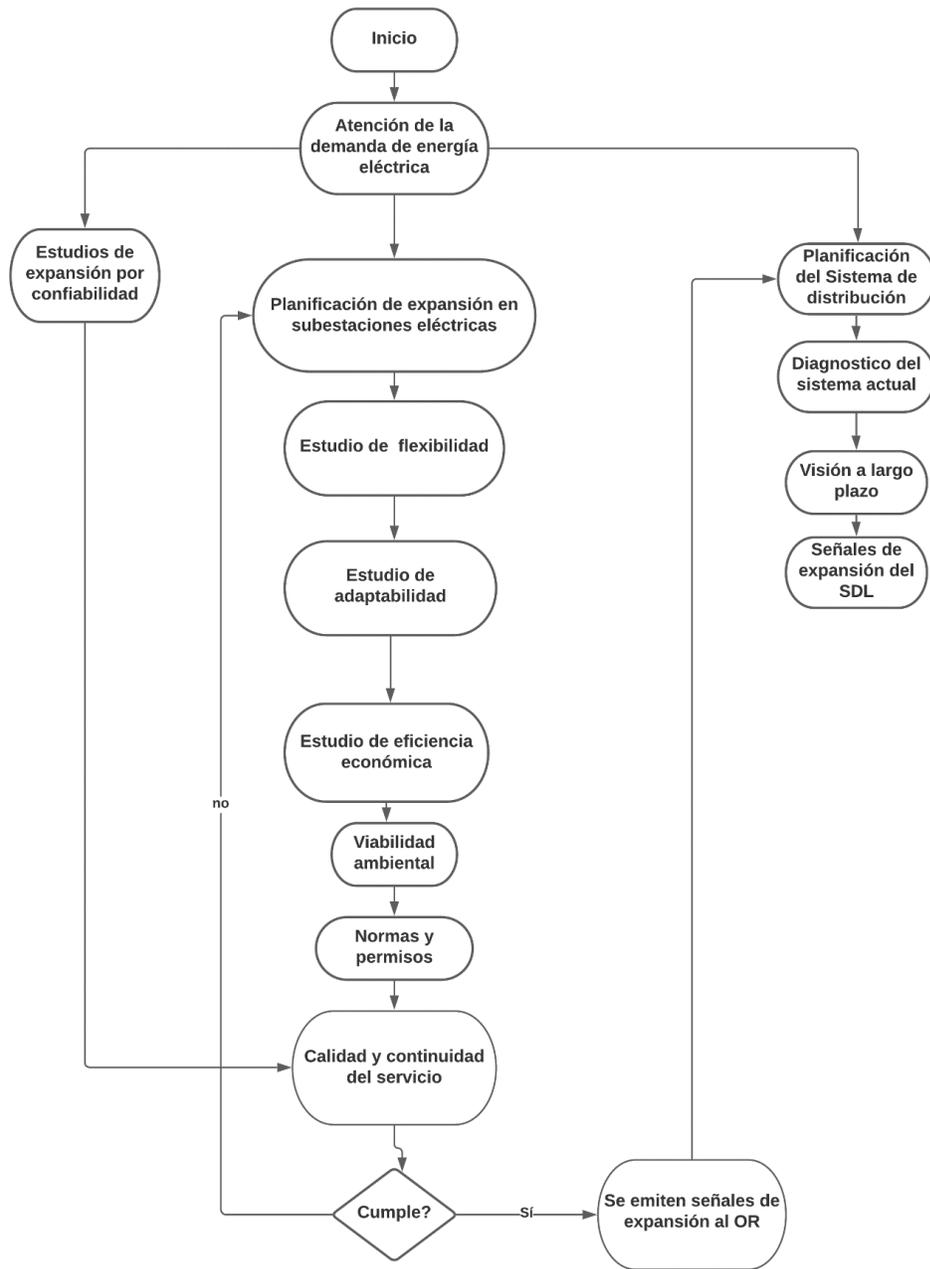


Figura 5. Metodología general para la planificación de la expansión en subestaciones eléctricas.

5.3 ANALIZAR LA FACTIBILIDAD DE EXPANSIÓN DE ACUERDO A LA METODOLOGÍA PROPUESTA AL OPERADOR DE RED.

De acuerdo con la metodología planteada, primeramente se debe hacer un estudio de la demanda de energía de una determinada subestación y pronosticar esta demanda para años futuros, para la proyección existen diferentes formas y una de ellas es planteada en la UPME, para este caso en particular la empresa de Centrales Eléctricas de Norte de Santander –CENS facilitó estos datos.

Inicialmente se debe escoger una zona de influencia de la subestación que se requiere estudiar, en el caso de estudio se va a analizar la subestación Palermo Norte de Santander, que está comprendido en la vía Pamplona- Cúcuta y como se ha venido hablando mayormente del proyecto de la doble calzada, donde algunos municipios se han visto afectados por la demanda de energía de esta zona. Por lo que se decidió hacer el estudio en esta S/E.



Figura 6. Zona de influencia del proyecto.
Fuente: CENS

En la figura 6 se observa los antecedentes de la zona de influencia del proyecto. Además de esto se puede observar los municipios que abarca la subestación Palermo que son Chinacota, Bochalema, Ragonvalia y Don Juana. A continuación se agrega la demanda historia de estos municipios que están conectados a la subestación Palermo.

Antes de estudiar la demanda se presenta la subestación Palermo, donde se muestran sus cargas.

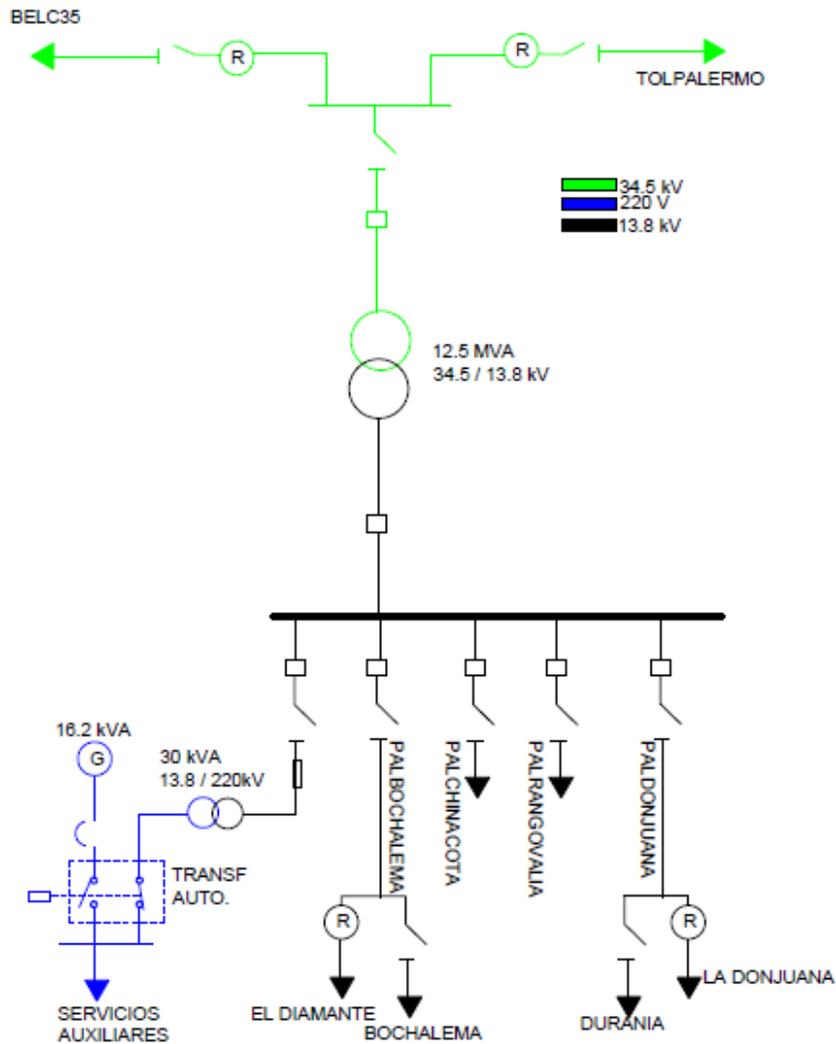


Figura 7. S/E Palermo
Fuente: CENS

Subestación eléctrica Palermo- Norte de Santander			
Años	Potencia MW (P)	Potencia MVAR (Q)	Tensión kV
2011	1,812422775	0,90501558	34.5
2012	1,960006826	0,92473104	
2013	2,119608521	0,94487599	
2014	2,292206447	0,9654598	
2015	2,478858876	0,98649201	
2016	2,680710254	1,00798241	
2017	2,898998219	1,02994096	
2018	3,135061188	1,05237788	
2019	3,390346564	1,07530358	
2020	3,666419612	1,0987287	
2021	3,964973055	1,12266414	

Figura 8. Tabla de la demanda historia en S/E Palermo.

En la *figura 8* se observa la demanda histórica de la subestación eléctrica Palermo Norte de Santander, desde 2011 hasta 2021. Dentro de estos datos están evidenciadas las potencias activa (MW) y reactiva (MVAR), posteriormente se tabulan mediante el programa de Excel y se obtiene la siguiente gráfica.



Figura 9. Gráfica de la demanda historia S/E Palermo.

Subestación eléctrica Palermo- Norte de Santander			
Años	Potencia MW (P)	Potencia MVAR (Q)	Tensión kV
2022	4,040270778	1,14398435	34.5
2023	4,109205313	1,16350285	
2024	4,188391651	1,1859241	
2025	4,265810436	1,20784488	
2026	4,347471347	1,23096679	
2027	4,434081404	1,25549004	
2028	4,517156357	1,27901233	
2029	4,60058482	1,30263472	
2030	4,685554143	1,3266934	
2031	4,772092786	1,35119643	

Figura 10. Tabla de la demanda pronosticada en S/E Palermo.

En la tabla de la *figura 10*, en comparación con la tabla de *figura 8* la demanda va aumentando considerablemente a través de los años. En 2011 la potencia activa promedio medida era de 1.1812 MW con una potencia reactiva de 0.905 MVAR, esto en comparación con la demanda del año actual (2021) ha aumentado considerablemente con un valor de potencia activa de 3,964 MW y sus reactivos también han aumentado a 1,122 MVAR. Por lo que la gráfica de la *figura 10*. Se muestran los datos de la demanda pronosticada hasta el año 2031 donde su demanda máxima estimada sería de 4,77209 MW.

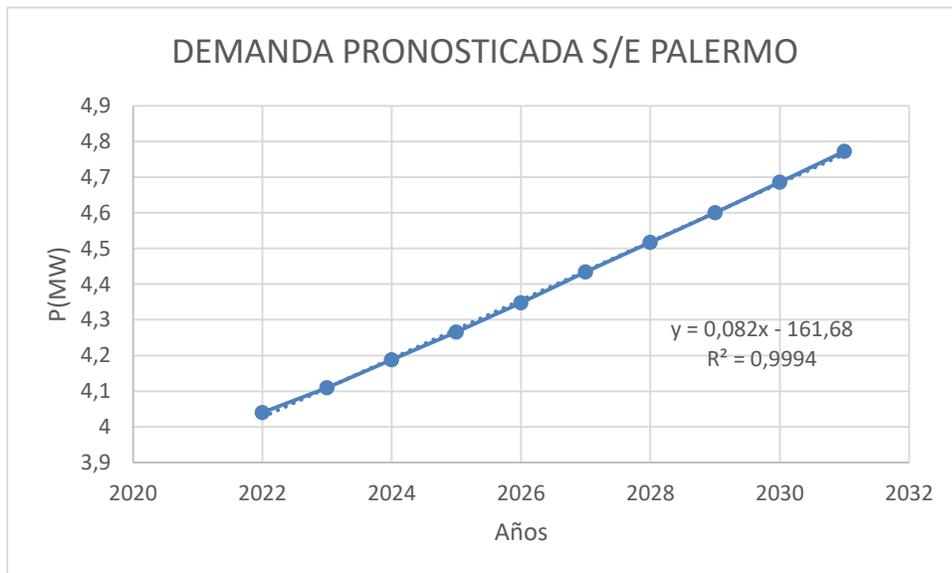


Figura 11. Gráfica de la demanda pronosticada de S/E Palermo.

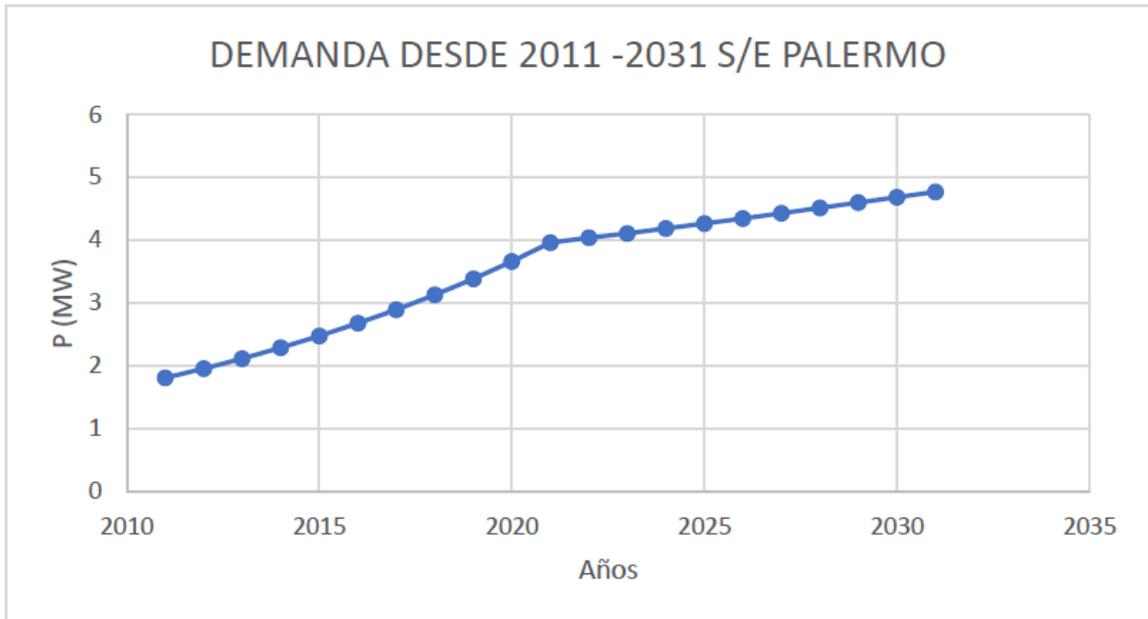


Figura 12. Gráfica de la demanda histórica con la pronosticada.

En la gráfica de la *figura 11* se aprecia el comportamiento de las dos demandas, histórica y la demanda de energía pronosticada. Una vez teniendo estos datos se analiza con la capacidad de transformación que tiene la S/E Palermo y este dato es suministrado por el Operador de Red, a continuación en la *gráfica 12* se presenta la comparación de capacidad de transformación junto con la demanda.

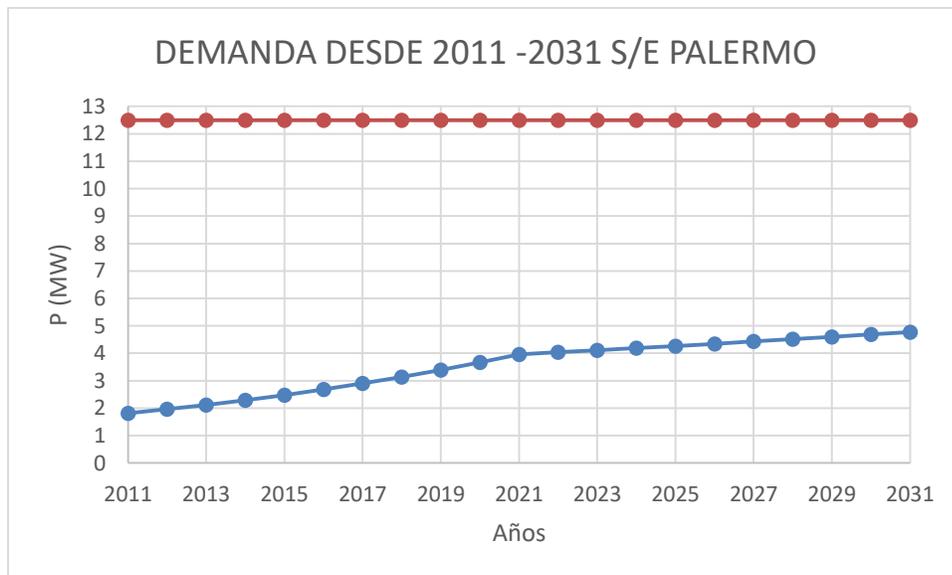


Figura 13. Gráfica capacidad de S/E Palermo vs demanda de energía.

Analizando las gráficas se puede decir que la demanda creciente aún no supera la capacidad de transformación que es de 12,5 MVA, pero aquí es donde se entra a analizar las siguientes variables que es la expansión por confiabilidad. Esto se debe a que la demanda no superó la capacidad de transformación pero si se requiere mejorar la confiabilidad y la seguridad de los siguientes circuitos.

- Salazar
- Cornejo
- Los patios
- Palermo
- Pamplona
- Toledo

Además de esto se requiere mejorar los perfiles de tensión de la zona urbana que es impactada por el proyecto y se requiere reconfigurar 7 circuitos.

Hasta aquí se sabe que se requiere mejorar la confiabilidad y seguridad de algunos circuitos dentro del departamento, pero también se debe saber cómo afecta esto a las cargas, por lo que entra en análisis otra variable que es la calidad y continuidad del servicio.

Para este caso la demanda pronosticada realizada en la gráfica de la *figura 11*, no superó la capacidad de transformación de la S/E Palermo, por lo que la continuidad del servicio seguiría funcionando de manera correcta. Pero para el caso de la calidad, se van a emplear nuevos proyectos de generación y además de esto se prevén nuevas subestaciones para brindar una mejor calidad en el servicio de energía eléctrica, esta información fue suministrada por el Operador de Red.

De este modo se afirma que se requiere una expansión en el sistema de energía eléctrica, más específicamente en la vía Pamplona- Cúcuta, subestación Palermo que es donde se ha venido realizando el estudio. Con información suministrada por CENS se propondrá una nueva subestación en La Don Juana, porque el OR ya tiene prevista una nueva subestación "Tonchalá" y la reconfiguración de la S/E Sevilla. Además de esto entrarán en operación dos plantas de generación, una en el Retiro uno y la otra en el Retiro dos.

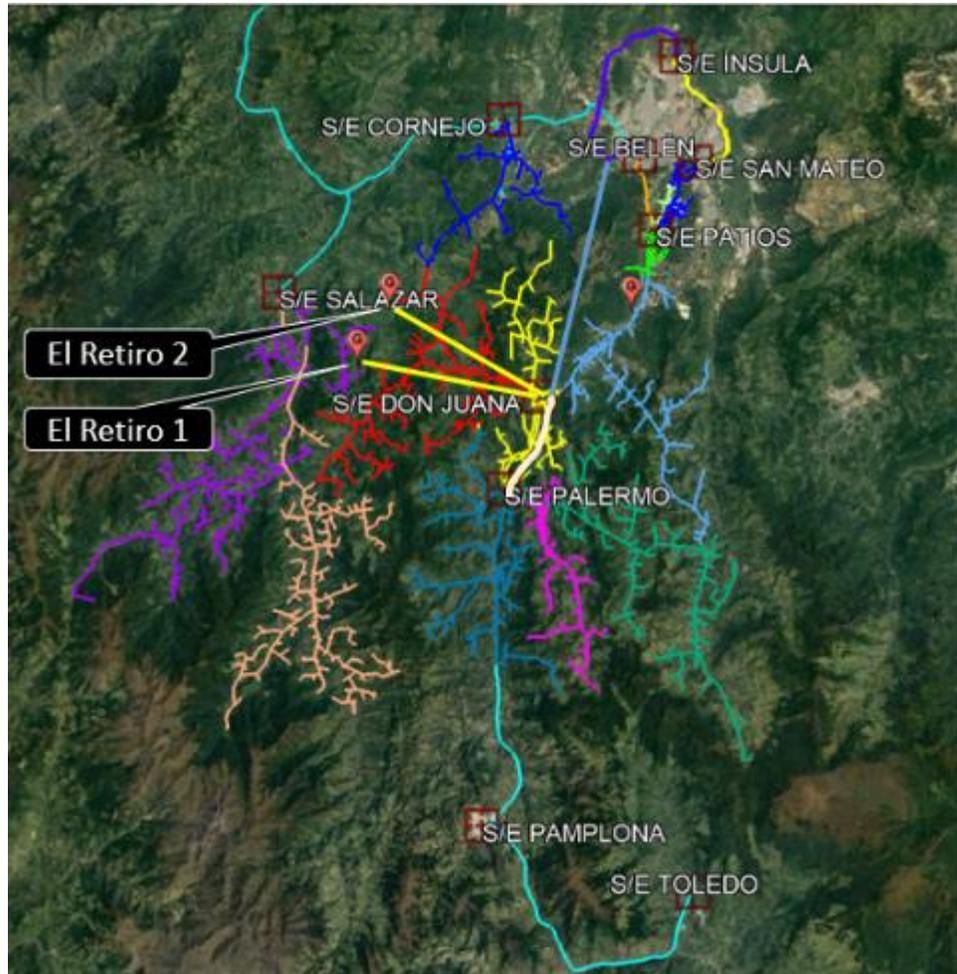
A continuación se presenta la justificación y la zona de influencia del proyecto.



Figura 14. Nuevas S/E Tonchalá y La Don Juana.
Fuente: CENS

- Nueva subestación Tonchalá: Seccionamiento eléctrico de la línea entre las subestaciones eléctricas la ínsula y Belén en 115 kV para la construcción de una subestación denominada "Tonchalá" en 115 kV la cual tomará circuitos que pertenecen a la subestación Belén 115kV.
- Reconfiguración de la subestación Sevilla: Apertura de la línea san mateo-ínsula 115kV para la reconexión de la subestación Sevilla mediante la construcción de las líneas San Mateo-Sevilla 115kV y Sevilla-ínsula 115kV.

- Nueva subestación Don Juana: Construcción de la nueva subestación Don Juana 115kV para atender nuevas demandas asociadas al departamento del Norte de Santander y la conexión de nuevas plantas de generación.



**Figura 15. Plan de conexión de las S/E con La Don Juana.
Fuente: CENS.**

A modo de justificación de la nueva subestación eléctrica, se presenta los planes de contingencia, información suministrada por el OR. Ante la contingencia en el Trafo 115/34.5 kV de la S/E Belén se pueda atender la demanda de los patios. Ante contingencia en el Trafo 34.5/13.8 kV de la S/E Palermo se pueda atender la demanda desde la S/E Don Juana.

Ante contingencia en el Trafo 34.5/13.8 kV de la S/E Salazar se pueda atender una parte la demanda desde la S/E Don Juana y la S/E Pamplona.

Ante mantenimiento y/o contingencia en el Trafo 115 34.5 kV de la S/E Toledo y en la línea Toledo-Palos 115 kV se pueda atender Gran parte de la demanda de las S/E Pamplona y Toledo.

Por otro lado se observa en la figura 15 la S/E Don Juana es la zona más factible para una nueva subestación ya que se encuentra en el punto más óptimo en cuanto ubicación y atención de la demanda no atendida- DNA en el sur del departamento y la atención de la nueva demanda que son las nuevas fuentes de generación ubicadas en el retiro. Además de que aumenta la confiabilidad y seguridad en los circuitos ya mencionados que son Salazar, Cornejo, Los Patios, Palermo, Pamplona y Toledo.

Obras a desarrollar en el mediano-Largo plazo.

- Construcción de una nueva S/E en el corregimiento la Don Juana conectándola por medio de una línea en 115kV de aproximadamente 21 km en doble circuito a la S/E Tonchalá.
- Construcción de un módulo de transformación 115/13.8 kV
- Expansión de 3.37 km de red en 266 ACSR para reconfigurar el alimentador Los Patios 13.8 kV

Con esto lo que se busca es mejorar los perfiles de tensión de la zona influenciada por el proyecto y la reconfiguración de algunos circuitos.

6. CONCLUSIONES

A raíz de la problemática descrita en el departamento de Norte de Santander donde se han presentado en la Unidad de Planeación Minero Energética-UPME proyectos de generación fotovoltaica en su mayoría, a través de los años y además de esto se evidencia que existe un proyecto de la vía Pamplona-Cúcuta y que este proyecto está afectando a los municipios que están en ese importante corredor vial, de tal manera que la demanda de energía ha incrementado en esta parte del departamento.

Para darle solución a la problemática planteada en el documento se estudia diversas metodologías y variables empleadas en ellas, lo cual existen diferentes diagramas de flujo, entre las más destacadas son las metodologías que están siendo utilizadas en la UPME para la planificación en expansión de generación y la metodología de planificación de expansión de transmisión. De ello resulta necesario decir que fueron de gran base para la metodología propuesta.

De las variables propuestas y descritas para implementar en la metodología en la sección 5.1 del libro, la variable no se tuvo en cuenta fue la coordinación con el SIN porque para eso se debe tener acceso a la información del OR.

Con el ánimo de implementar la metodología propuesta, se debe escoger una zona específica dentro del departamento lo cual se escogió la vía pamplona- Cúcuta y en específico la subestación eléctrica Palermo y se le hace el estudio de la demanda historia y pronosticada de sus cargas y esto se puede evidenciar en la gráfica de la figura 13 donde se comparó con la capacidad de transformación de la S/E Palermo y se observa que esta demanda no supera esta y por consiguiente se optó por estudiar otra variable pero siguiendo con la metodología.

En síntesis luego de comprobar que la expansión por confiabilidad y seguridad de los circuitos existentes y configuración de unas subestaciones se emiten señales de expansión para la subestación estudiada. Por lo anterior el OR tenía prevista una nueva subestación denominada Tonchalá, reconfigurar la S/E Sevilla y modificación de algunos circuitos por lo tanto el OR propone una nueva S/E en el municipio de la Don Juana ya que está en el mismo corredor vial y queda en cierto punto donde puede ser alimentada y distribuir sus carga, por ende aliviando la subestación estudiada y amentando la confiabilidad y seguridad en el sistema.

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] R. A. Hincapié, M. Granada, y R. A. Gallego, «Planeación óptima del sistema eléctrico de la ciudad de Pereira usando una metodología matemática exacta», *Rev. Ing.*, n.º 28, pp. 51-58, 2008.
- [2] S. B. Dalal, K. K. Cocco, y M. D. Mattson, «Methodology for expansion of 230kV substations», *Proc. IEEE Power Eng. Soc. Transm. Distrib. Conf.*, 2014.
- [3] J. F. Franco, M. J. Rider, y R. Romero, «Robust Multi-Stage Substation Expansion Planning Considering Stochastic Demand», *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 31, n.º 3, pp. 2125-2134, 2016.
- [4] Grupo Energía Bogota, F. Las Rozas, «Subestación Eléctrica», presentación Transmisión GupoEnergíaBogotá.
- [5] J. U. Proyectos, «Subestaciones Cens-Norma Técnica - Cns-Nt-04 Cns-Nt-04», pp. 1-44, 2016.
- [6] DIEE- Universidad del Norte, «Configuración de Subestaciones Eléctricas», *Config. Sube. Eléctricas*, p. 49, 2015.
- [7] HMV y MEJIA VILLEGAS S.A., «Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión». pp. 697-699, 2003.
- [8] Ministerio de Minas y Energías. Comisión de Regulación de Energía y Gas-CREG. «RESOLUCIÓN No. () DE 2002», 2002.
- [9] «Ministerio de Minas y Energía. Comisión de regulación de Energía y Gas CREG. Coordinación entre agentes - viabilidad de la conexión. Bogotá: 26 SEP. 2018»
- [10] «Optimización por colonia de hormigas: aplicaciones y tendencias», *Ing. Solidar.*, vol. 6, n.º 10, pp. 83-89, 2011.
- [11] M. Energ, «Generación – transmisión, la planeación como un reto del sector», 2014.
- [12] Ministerio de Minas y Energía, «RETIE: Anexo General», pp. 1-206, 2019.
- [13] Centrales Eléctricas de Norte de Santander. CENS, Informe de Sostenibilidad 2019.
- [14] Ministerio de Energía y Minas., «Metodología para la Proyección de la Demanda y Expansión de la Generación y Transmisión», *Plan Ref. Electr. 2006-2015*, p. 34, 2015.
- [15] UPME, «Eléctricidad y Potencia Máxima en Colombia, Revisión Junio de 2016», *Minist. Minas y Energ.*, p. 55, 2016.
- [16] J. W. Grimaldo Guerrero, M. A. Mendoza Becerra, y W. P. Reyes Calle, «Modelo para pronosticar la demanda de energía eléctrica utilizando los producto interno brutos sectoriales: Caso de Colombia», *Espacios*, vol. 38, n.º 22, 2017.
- [17] «Jiménez Rivera, b. (2017). Metodología de planeación de la expansión.

presentation, Bucaramanga.».

[15] J. W. Grimaldo Guerrero, M. A. Mendoza Becerra, y W. P. Reyes Calle, «Modelo para pronosticar la demanda de energía eléctrica utilizando los producto interno brutos sectoriales: Caso de Colombia», Espacios, vol. 38, n.o 22, 2017.

[16] « Jiménez Rivera, b. (2017). Metodología de planeación de la expansión. presentation, Bucaramanga.» .